



Aalto-yliopisto  
Insinöörیتieteiden  
korkeakoulu

Tuomas Waltteri Rantanen

## **Rakennusautomaation projektinhallinnan kehittäminen pää- urakoitsijan näkökulmasta**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 23.4.2018

Valvoja: Professori Antti Peltokorpi

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Pekka Lantto

---

**Tekijä** Tuomas Waltteri Rantanen

---

**Työn nimi** Rakennusautomaation projektinhallinnan kehittäminen pääurakoitsijan näkökulmasta

---

**Koulutusohjelma** Building technology

---

**Pää-/sivuaine** -

**Koodi** ENG27

---

**Työn valvoja** Professori Antti Peltokorpi

---

**Työn ohjaaja(t)** Diplomi-insinööri Pekka Lantto

---

**Päivämäärä** 23.4.2018

**Sivumäärä** 69+2

**Kieli** Suomi

---

## Tiivistelmä

Tässä diplomityössä tutkitaan rakennusautomaation projektinhallinnan kehittämistä pääurakoitsijan näkökulmasta. Rakennusautomaatio mielletään usein monimutkaisena ja etäisenä osana rakennushanketta, mikä asettaa haasteita projektinhallinnalle. Rakennusautomaatio voidaan kuitenkin nähdä talotekniikan yhteen sitovana tekijänä, jolla mahdollistetaan tilan loppukäyttäjän tyytyväisyys, mikä on merkittävä mittari rakennushankkeen onnistumisessa.

Diplomityö toteutetaan kahdessa osassa. Ensimmäinen osa muodostuu kirjallisuustutkimuksesta, jossa perehdytään kattavasti rakennusautomaatiojärjestelmän rakenteeseen ja toimintaan, rakennusautomaation projektinhallinnan työvaiheisiin ja sidosryhmiin, rakennushankkeen vaiheiden linkittymiseen rakennusautomaation projektinhallintaan ja työvaiheiden arvon muodostumiseen. Kirjallisuustutkimuksen perusteella yhdistetään rakennusautomaatioprojektin työvaiheisiin vaikuttavat sidosryhmät ja tunnistetaan projektinhallinnan riskitekijöitä työvaiheittain.

Diplomityön toinen osa on empiirinen tutkimus, joka toteutetaan asiantuntijoiden haastattelututkimuksena. Haastattelututkimuksella tunnistettiin pääurakoitsijalle vaikeasti hallittavia työvaiheita ja kehitettiin projektinhallinnan menetelmiä palvelemaan paremmin pääurakoitsijan omaa projektinhallintaa.

Tulosten perusteella laadittiin kehitysehdotuksia projektinhallintaan: rakennusautomaatiojärjestelmän kaapeloinnin liittäminen rakennusautomaatiourakkaan aikaistaa rakennusautomaatiourakoitsijan läsnäoloa ja parantaa rakennusautomaatiotöiden yhteensovittamista ja projektinhallintaa. Kriittisellä ajanjaksolla pistetestauksesta toimintakokeisiin suoritettavien töiden aikaisempi suorittaminen, kuten tehdastestaus vähentää kyseisen ajanjakson aktiviteetteja keventäen projektinhallinnan kuormitusta. Töiden yhteensovittamiseksi ja puutteiden aikaisen havaitsemisen parantamiseksi, työvaiheilmoituksessa tulee esittää liiallista teknisyyttä välttämällä tulevat työvaiheet ja niiden suorittamista estävät tekijät.

---

**Avainsanat** Rakennusautomaatio, projektinhallinta, lean-rakentaminen, laatujohtaminen, rakentaminen, rakennushanke

---

---

**Author** Tuomas Waltteri Rantanen

---

**Title of thesis** Developing the project management of building automation contractor from the main contractor's point of view

---

**Degree programme** Building technology

---

**Major/minor** Kirjoita tekstiä napsauttamalla tätä.

**Code** ENG27

---

**Thesis supervisor** Professor Antti Peltokorpi

---

**Thesis advisor(s)** M.Sc Pekka Lantto

---

**Date** 23.4.2018

**Number of pages** 69+2

**Language** Finnish

---

## Abstract

This master's thesis examines the possibilities of developing the project management of the building automation contractor from the main contractor's point of view. Building automation is often perceived as complex and distant part of the construction project which complicates the project management of building automation. However, building automation can be seen as a connective factor of HVAC systems that enables the satisfaction of the end customer.

This master's thesis is conducted in two parts. The first part is a literature study that examines the building automation systems, stages of the project management and the role of the stakeholders, connections between the construction project and the building automation project, and value mapping of different work stages. Based on the literature study, stakeholders and risk factors affecting on work stages are identified.

The second part is conducted as an empirical study that is executed by interviewing HVAC professionals who are working for the main contractor. Difficulty managed work stages are identified based on the literature study and interviews in order to develop the project management of building automation to serve the project management of the main contractor.

The development concepts were suggested to improve the project management: integrating the cabling of the building automation system to the building automation contractor enables the early presence of the building automation contractor in the construction project, while improving the coordination of work flow and project management. Assembling and testing field equipment's in the factory decreases the amount of work in critical time-period in construction site from self-testing to the final function test. Executing tasks in advance decreases the stress of the project management. Notification of building work stage can be used as a tool for enabling the continuous workflow. The notification of building work stage should include sections to inform coming tasks and factors that will prevent the execution of the tasks while avoiding too technic expression.

---

**Keywords** Building management systems, BMS, lean-construction, total quality management, TQM, construction, construction project

---

## Alkusanat

*Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston rakennustekniikan laitokselle osana Building technology-maisteriohjelmaa. Diplomityön rahoittajana toimi Fidelix Oy.*

*Haluan lämpimästi kiittää professori Antti Peltokorpea työn ohjauksesta ja valvonnasta. Anttia haluan erityisesti kiittää nopeasta reagoinnista kysymyksiini ja neuvoista, jotka mahdollistivat työn etenemisen. Haluan myös kiittää diplomityön ohjaajaa Pekka Lanttoa kannustuksesta ja työn aikana saaduista kommentteista.*

*Lämmin kiitos kuuluu myös Fidelix Oy:lle, joka mahdollisti diplomityön toteuttamisen. Fidelix Oy:stä haluan erityisesti kiittää Harri Bambergia avusta diplomityön aiheen suunnittelussa sekä Börje Sandströmiä, Petri Jokista ja Jussi Rantasta, jotka mahdollistivat diplomityön tekemisen töiden ohessa.*

*Haluan myös kiittää diplomityön empiiriseen tutkimukseen haastateltuja henkilöitä, joiden kokemuksista ja näkemyksistä oli korvaamaton apu diplomityön toteutukselle.*

Vantaa 23.4.2018



Tuomas Waltteri Rantanen

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo .....	1
Käsitteet.....	3
1 Johdanto .....	5
1.1 Tutkimuksen tausta.....	5
1.2 Tutkimustavoitteet ja tutkimuskysymykset.....	6
1.3 Työn rajaukset .....	6
1.4 Tutkimusmenetelmät .....	6
2 Rakennusautomaatiojärjestelmä.....	8
2.1 Rakennusautomaatio .....	8
2.1.1 Kenttätaso.....	9
2.1.2 Automaatiotaso .....	10
2.1.3 Hallintotaso .....	12
2.1.4 Kaapelointi .....	12
3 Rakennusautomaatioprojekti.....	13
3.1 Rakennusautomaation sisäinen projektiorganisaatio.....	13
3.2 Rakennusautomaation sidosryhmät .....	14
3.3 Rakennusautomaatioprojektin vaiheet .....	15
3.3.1 Sopimus projektista.....	16
3.3.2 Aloituspalaveri .....	16
3.3.3 Töiden suunnittelu.....	17
3.3.4 Työmaakokoukset ja urakoitsijapalaverit .....	17
3.3.5 Laitetilaukset.....	18
3.3.6 Kytkenäsuunnitelmat .....	19
3.3.7 Graafinen käyttöliittymä ja ohjelmointi .....	20
3.3.8 Omat toimintakokeet.....	21
3.3.9 Säädot, viritykset ja mittaukset .....	22
3.3.10 Urakoitsijoiden väliset toimintakokeet .....	22
3.3.11 Tilaajan toimintakokeet.....	22
3.3.12 Luovutus ja takuu aika .....	23
4 Rakennushanke ja sen sidosryhmät.....	24
4.1 Sidosryhmät.....	24
4.1.1 Rakennushankkeen tilaaja.....	24
4.1.2 Rakennuttaja.....	25
4.1.3 Urakoitsija .....	25
4.1.4 Suunnittelijat .....	26
4.1.5 Rakennuttajakonsultti.....	26
4.1.6 Tilan loppukäyttäjä.....	27
4.2 Rakennushankkeen kulku.....	27
4.3 Tarveselvitys .....	27
4.4 Hankesuunnittelu.....	27
4.5 Suunnittelu.....	28
4.5.1 Rakennusautomaatiosuunnittelu .....	29
4.6 Rakentamisen valmistelu.....	31

4.6.1	Urakoiden hankinta .....	31
4.7	Rakentaminen .....	33
4.7.1	Projektinhallinta .....	33
4.7.2	Rakennusautomaation rakentamisvaiheen projektinhallinta.....	36
4.7.3	Kenttälaiteasennukset.....	39
5	Yhteenveto teoriaosuudesta .....	45
6	Empiirinen tutkimus.....	46
6.1	Haastattelujen toteutus ja analysointi .....	46
6.2	Kokemukset rakennusautomaatiosta .....	47
6.2.1	Muutosten hallinta.....	47
6.2.2	Merkitys pääurakoitsijalle ja tilan loppukäyttäjälle .....	48
6.2.3	Yleisesti puutteellisiksi koetut tekijät .....	48
6.2.4	Arvostettavat piirteet.....	49
6.3	Rakennusautomaation työvaiheiden hallinta ja yhteensovitus.....	49
6.3.1	Ymmärrys pääurakoitsijan ja muiden urakoitsijoiden töistä.....	50
6.3.2	Kriittiset työvaiheet projektinhallinnan näkökulmasta .....	52
6.3.3	Pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalut.....	52
6.4	Rakennusautomaatiotöiden suoritus.....	53
6.4.1	Ajanjakso pistetestauksesta toimintakokeisiin.....	53
6.4.2	Työkuvien hallinta ja dokumentointi .....	55
6.4.3	Luovutuksen jälkeiset työt .....	56
6.5	Kommunikointi .....	56
6.6	Empiirisen tutkimuksen yhteenveto .....	57
7	Pohdinta ja johtopäätökset .....	59
7.1	Tulosten pohdinta .....	59
7.1.1	Tulosten merkitys ja uutuusarvo .....	59
7.1.2	Suosituksia alalle.....	60
7.2	Johtopäätökset .....	61
7.3	Tutkimustulosten luotettavuus .....	62
7.4	Jatkotutkimusmahdollisuudet.....	62
	Lähdeluettelo.....	64
	Liitteet	

## Käsitteet

<b>Alakeskus</b>	Kiinteistön talotekniikka ohjaava laitteisto
<b>Aliurakoitsija</b>	Yritys, joka on sitoutunut toteuttamaan urakkasopimuksen mukaisen työn, mutta ei ole suorassa sopimussuhteessa tilaajan kanssa
<b>Hankinta</b>	Materiaalin tai työsuorituksen ostamista
<b>I/O-moduuli</b>	Input/Output pisteistä koostuva piirikortti
<b>Kilpailuetu</b>	Yrityksen suhteellinen etu kilpailijoihin nähden liiketoimintaan vaikuttavassa toimintatavassa
<b>Laatu</b>	Tuotteen tai palvelun ominaisuus, joka vaikuttaa asiakkaan tarpeen täyttymiseen
<b>Projektinhallinta</b>	Projektin resurssien hallintaa niin, että projektille asetetut tavoitteet täyttyvät
<b>Projektinhoitaja</b>	Henkilö, joka vastaa projektin toteuttamisesta
<b>Projektipäällikkö</b>	Henkilö, joka on vastuussa projektille asetettujen tavoitteiden saavuttamisesta
<b>Pääurakoitsija</b>	Rakennuttajaan sopimussuhteessa oleva urakoitsija, joka on kaupallisissa asiakirjoissa nimetty pääurakoitsijaksi
<b>Rakennuttaja</b>	Luonnollinen tai juridinen henkilö, jonka lukuun rakennustyö tehdään
<b>Resurssi</b>	Aineellinen tai aineeton väline, jolla pyritään saavuttamaan asetettuja tavoitteita
<b>Sidosryhmä</b>	Koostumus toimijoista, joiden kanssa urakoitsija on vuorovaikutuksessa urakan toteuttamaksi
<b>Sopimusasiakirjat</b>	Urakkasopimuksessa noudettavaksi sovitut asiakirjat sekä niihin rakennusaikana sopimuksilla liitetyt asiakirjat
<b>Tilaaja</b>	Urakoitsijan sopimuskumppani, joka on tilannut urakkasuorituksen
<b>Urakka</b>	Sopimuksesta suoritettava työ, jonka urakoitsija suorittaa sovittua korvausta vastaan
<b>Urakkaneuvottelu</b>	Tilaisuus, jossa täsmennetään sopimusasiakirjoja ja neuvotellaan urakan toteuttamisesta tilaajan ja urakoitsijan välillä

**Urakoitsija**

Tilaajan sopimuskumppani, joka on sitoutunut toteuttamaan aikaansaamaan sopimusasiakirjoissa määritellyn työn tuloksen

**YSE 1998**

Rakennusurakassa yleisesti käytettävät sopimusehdot



# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennusautomaation merkitys rakennusten olosuhteiden ja muiden järjestelmien hallintaan on kasvussa. Järjestelmien ymmärtämisen ja integroinnin hallinta mielletään usein monimutkaisena ja etäisenä osana rakennushanketta, mikä vaikuttaa negatiivisesti projektinhallintaan ja -toteutukseen. Rakennusautomaatiolla mahdollistetaan sisätilojen miellyttävät olosuhteet käyttäjälähtöisesti ja energiatehokkaasti sekä kestävästi rakennuksen elinkaaren näkökulmasta. Tämän takia rakennusautomaatiolla on suuri vaikutus tilan loppukäyttäjän tyytyväisyyteen, mikä on merkittävä tekijä rakennushankkeen onnistumisessa. Urakoitsijoiden näkökulmasta onkin tärkeää miettiä, mikä tuo arvoa tilan loppukäyttäjälle ja miten sitä voidaan kehittää tehokkaan projektinhallinnan avulla.

Rakennusautomaatioon kuuluvien järjestelmien asennuksen ja käyttöönoton kannalta avainasemassa on projektinhallinta: resursseja tulee kohdistaa niin, että työtehtävien suorituksen jatkuvuudelle on edellytykset. Rakennushankkeet itsessään ovat kuitenkin monialaista yhteistyötä vaativia kompleksisia kokonaisuuksia, mikä asettaa haasteita projektin laadun, kustannusten ja aikataulun hallinnalle. Työvaiheet on usein pilkottu työvaiheeseen erikoistuneelle aliurakoitsijalle, joiden koordinoinnista on vastuussa pääurakoitsija ja aliurakoitsijoiden työnjohto. Rakennusautomaatio voidaan nähdä rakennuksen talotekniikan yhdeksi kokonaisuudeksi sitovaksi tekijäksi, joka jää piiloon tilan loppukäyttäjältä. Rakennusautomaation työt ovat sidoksissa putki-, sähkö- ja ilmanvaihtourakoitsijan sekä monen muun urakoitsijan työhön, mikä asettaa haasteita työvaiheiden ja niiden aikataulujen hallinnalle sekä linkittää työn tiivistä pääurakoitsijaan.

Tekniikan kehitys mahdollistaa uudenlaisten järjestelmien toteutuksen ja uudenlaisten palvelujen integroinnin kiinteistöihin. Tämä lisää paineita pääurakoitsijalle ymmärtää taloteknisten ratkaisujen kriittisiä vaiheita ja järjestelmien toimintaa. Pääurakoitsijalla tulisi olla tarkka käsitys koko projektista ja sen yksittäisistä työvaiheista sekä niihin sidoksissa olevista aliurakoitsijoista ja järjestelmistä, jotta työvaiheita voidaan hallita tehokkaasti kustannusten ja aikataulun rajoittamassa ikkunassa, lisäten arvoa tilan loppukäyttäjälle.

Tässä työssä tutkitaan ja pyritään kehittämään tehokkaampia toimintatapoja ja menetelmiä rakennusautomaatioprojektin hallintaan pääurakoitsijan näkökulmasta. Työssä perehdytään rakennusautomaatioprojektin vaiheisiin ja osapuoliin sekä yhdistetään nämä vaiheet pääurakoitsijan projektinhallintaan. Tunnistamalla ja kehittämällä puutteellisia toimintatapoja sekä implementoimalla hyväksi havaittuja toimintatapoja parannetaan molemminpuolista ymmärrystä työvaiheiden vaatimuksista. Molemminpuolinen ymmärrys työvaiheista ja niiden vaatimuksista lisää kommunikoinnin tehokkuutta ja työn tuottavuutta.

Diplomityö toteutetaan Fidelix Oy:n toimeksiannosta. Fidelix Oy on suomalainen vuonna 2002 perustettu rakennusautomaatioalan yritys, joka kehittää ja urakoi älykkäitä rakennusautomaatio- sekä turvajärjestelmiä. Fidelix Oy on toteuttanut Suomessa yli 10 000 projektia, joita käytetään muun muassa asuin- ja toimistorakennuksissa, sairaaloissa, kouluissa, hotelleissa, varastoissa, hoivakodeissa, pysäköintilaitoksissa ja ostoskeskuksissa.

## **1.2 Tutkimustavoitteet ja tutkimuskysymykset**

Tämän diplomityön tavoite on tunnistaa ja kehittää toimivia menetelmiä rakennusautomaatioprojektin hallintaan pääurakoitsijan näkökulmasta. Diplomityössä pyritään tunnistamaan rakennushankkeen pääurakoitsijalle kriittisiä tekijöitä ja vaiheita, jotka koetaan haastavaksi rakennusautomaation projektinhallinnan osalta. Tavoitteena on kartoittaa, miten pääurakoitsija kokee rakennusautomaation osana rakennushanketta ja mistä tekijöistä sekä positiiviset, että negatiiviset kokemukset johtuvat ja mikä on niiden vaikutus rakennushankkeen hallintaan. Samalla pyritään selvittämään, onko pääurakoitsijalla riittävä ymmärrys rakennusautomaatiosta ja sen asettamista vaatimuksista rakennushankkeen projektinhallinnan näkökulmasta. Näiden pohjalta pyritään tunnistamaan ja kehittämään hyviä toimintatapoja ja menetelmiä tulevaisuuden hankkeille.

Tutkimuksessa pyritään vastaamaan seuraaviin kysymyksiin

1. Miten pääurakoitsijat kokevat rakennusautomaation osana projektinhallintaa?
2. Mitä haasteita rakennusautomaatio asettaa rakennusprojektille ja miten ne linkittyvät eri työvaiheeseen?
3. Miten pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalut soveltuvat rakennusautomaation hallintaan?
4. Millä menetelmillä ja työkaluilla pääurakoitsija mahdollistaa onnistuneen rakennusautomaation käyttöönoton?

Tutkimuskysymyksiin vastaamalla pyritään tunnistamaan projektinhallintaan toistuvasti vaikuttavia negatiivisia tekijöitä sekä löytämään projektinhallinnan kannalta toimivia menetelmiä ja toimintatapoja. Negatiiviset tekijät pyritään tunnistamaan, jotta toimintatapoja voidaan kehittää ja tulevaisuudessa parantaa. Soveltuvat toimintatavat pyritään tunnistamaan ja implementoimaan niitä laaja-alaisempaan käyttöön tulevaisuuden hankkeissa.

Vaikeasti ymmärrettävät rakennusautomaation työvaiheet ja järjestelmät kartoitetaan, jotta ymmärrystä järjestelmistä ja niihin vaikuttavista sidosryhmistä voidaan parantaa. Oletuksena on, että järjestelmien kokonaisvaltainen ymmärtäminen parantaa projektinhallinnan tarkkuutta ja lisää työn tuottavuutta.

## **1.3 Työn rajaukset**

Diplomityö on rajattu käsittelemään rakennusautomaationprojektinhallinnan kehittämistä pääurakoitsijan näkökulmasta. Työssä käsitellään rakennusautomaatiotöihin vaikuttavia sidosryhmiä ja niiden hallinnan haasteita, jotka heijastuvat pääurakoitsijan toimintaan. Projektinhallinnan kehittämistä tarkastellaan pääkaupunkiseudulla toteutettujen rakennusautomaatioprojektien kautta.

## **1.4 Tutkimusmenetelmät**

Diplomityö noudattaa konstruktiivista tutkimusotetta, jolla pyritään ratkaisemaan reaali maailman ongelmia. Konstruktiivisen tutkimuksen prosessi muodostuu syvällisestä teoreettisesta perehtymisestä aiheeseen, jonka avulla kehitetään konstruktio tutkimuksen empiirisiin löydöksiin. (Kasanen ym., 1993, s. 246-247) Diplomityön tutkimus toteutetaan kahdessa osassa, ensimmäinen osa toteutetaan kirjallisuustutkimuksena ja toinen osa toteutetaan empiirisenä tutkimuksena.

Kirjallisuustutkimuksessa perehdytään kattavasti rakennusautomaatiojärjestelmän rakenteeseen ja toimintaan, rakennusautomaation projektinhallinnan työvaiheisiin ja sidosryhmiin, rakennushankkeen vaiheiden linkittymisen rakennusautomaation

projektinhallintaan ja työvaiheiden arvon muodostumiseen. Kirjallisuustutkimuksen perusteella yhdistetään rakennusautomaatioprojektin työvaiheisiin vaikuttavat sidosryhmät ja tunnistetaan projektinhallinnan riskitekijöitä työvaiheittain.

Empiirinen tutkimus toteutetaan haastattelututkimuksena, jonka pohjana hyödynnetään kirjallisuustutkimuksessa tehtyjä havaintoja. Haastattelututkimuksen menetelminä käytetään strukturoitua ja puolistrukturoitua haastattelua. Haastattelututkimuksella pyritään tunnistamaan pääurakoitsijalle vaikeasti ymmärrettäviä työvaiheita ja kehittämään projektinhallinnan menetelmiä palvelemaan paremmin pääurakoitsijan omaa projektinhallintaa. Yhteisymmärrys projektinhallinnasta vähentää sidosryhmille syntyvää hukkaa parantaen työn tuottavuutta.

Puolistrukturoituhaastattelu eli teemahaastattelu on kvalitatiivinen haastattelu menetelmä. Puolistrukturoidun haastattelun avulla pyritään kartoittamaan haastateltavan omia kokemuksia ja näkemyksiä. Puolistrukturoidulle haastattelumenetelmälle ominaisesti haastattelun näkökohta on ennalta valittu. Diplomityön tutkimuksen teemahaastattelun näkökohtana ovat kirjallisuustutkimuksen havainnot rakennusautomaation projektinhallinnasta ja kriittisistä työvaiheista. Teemahaastattelun etuna voidaan pitää joustavuutta haastateltavien suhteen, joka mahdollista tiedon keruun useissa eri tilanteissa ja haastattelun kohdentamista tiettyyn aihepiiriin. Teemahaastattelu korostaa haastateltavien omia näkemyksiä ja mahdollistaa haastattelujen analysoinnin. (Doody ym., 2012, s.30)

Strukturoitu haastattelu toteutetaan lomakehaastatteluna, jossa kysymykset ja vastausvaihtoehdot ovat valmiiksi valittu. Kysymykset ja vastausvaihtoehdot pysyvät samana haastattelun kohderyhmästä riippumatta. Kysymykset valitaan ja asetellaan niin, että ne ymmärretään samalla tavalla, eikä eroavaisuuksia kysymyksen ymmärtämisessä pääse syntymään. Strukturoitu haastattelu mahdollistaa haastattelun muuntamisen kvantitatiiviseksi tutkimukseksi, jossa haastatteluaineisto muunnetaan määrälliseksi aineistoksi. (Doody ym., 2012, s.28)

## 2 Rakennusautomaatiojärjestelmä

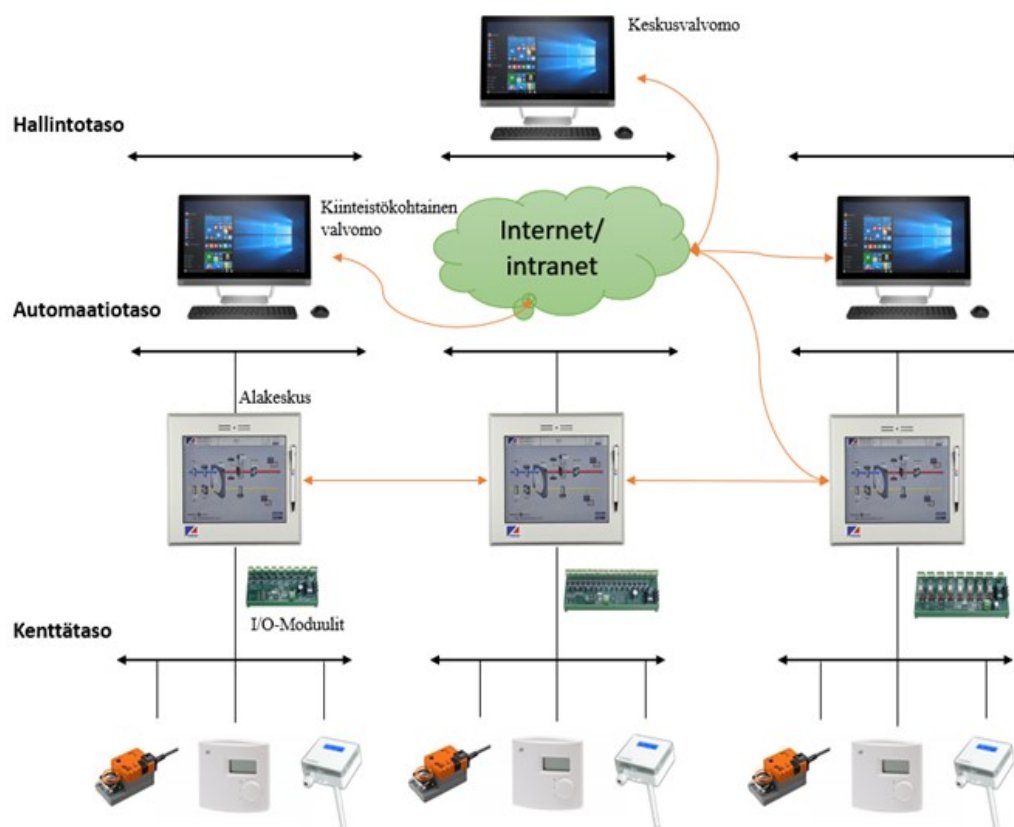
Tässä luvussa käsitellään rakennusautomaatiojärjestelmien rakennetta ja toimintaa. Rakennusautomaatiojärjestelmiin perehdytään käsittelemällä rakennusautomaatiojärjestelmää hierarkkisina tasoina, joiden rakenne käsitellään yksityiskohtaisesti.

### 2.1 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan rakennusten lämmitys-, ilmanvaihto-, valaistus-, hälytys-, ja valvontajärjestelmien eli talotekniikan automaattista ohjausta ja valvontaa. Rakennusautomaatiojärjestelmällä on usein toiminnallisia yhteyksiä kiinteistönhallinta- ja turvajärjestelmiin, kuten kulunvalvonta, palonilmaisu ja savunpoistojärjestelmät, jotka ovat usein integroitu osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää. (Härkönen ym., 2012)

Rakennusautomaatio pyrkii sitomaan rakennuksen talotekniset järjestelmät yhdeksi helposti hallittavaksi kokonaisuudeksi, jonka tarkoitus on ohjata ja hallita rakennuksen tilojen sisäolosuhteita ohjaamalla ja säätämällä siihen sidoksissa olevia järjestelmiä energia- tehokkaasti tilan käyttötarpeen ja mahdollisten poikkeustilanteiden mukaisesti. (Kastner ym., 2005)

Rakennusautomaatiojärjestelmän voidaan ajatella koostuvan hierarkkisista tasoista, jotka ovat jaettu tehtäväalueittain. Alimmalla tasolla hierarkiassa ovat kentälaitteet, keskimmäisen tason muodostavat alakeskukset ja ylimmän tason muodostavat valvomot. Järjestelmien hierarkkinen rakenne ja tasoihin liittyvät järjestelmä sekä laitteet ovat esitetty kuvassa 1 ja taulukossa 1. (Bamberg ym., 2008, s. 12)



Kuva 1. Tasojen muodostama kokonaisuus (mukaillen Bamberg ym., 2008, s. 12).

*Taulukko 1. Tasojen rakenne.*

Taso	Osat
Hallintotaso	Paikallisvalvomo ja keskusvalvomo
Automaatiotaso	Alakeskukset ja I/O-moduulit
Kenttätaso	Kenttälaitteet

Rakennusautomaatiojärjestelmän älykkyys perustuu ohjelmistoon, joka on hajautettu eri tasoille ja laitteille. Tästä johtuen, järjestelmän laitteilla on oltava kyky kommunikoida keskenään. Järjestelmän hajauttaminen tuo toimintaan lisää luotettavuutta, mahdollistamalla järjestelmän eri osien toiminnan itsenäisyyden. Eri tasoissa vaikuttavat ohjelmistot ovat esitetty taulukossa 2. (Härkönen ym., 2012, s. 96)

*Taulukko 2. Tasojen älykkyys.*

Hallintotaso	Valvomossa käyttäjän vaatimuksille räätälöity ohjelma rakennuksen ohjaukseen ja valvontaan
Automaatiotaso	Alakeskukset, joissa talotekniikan automaattisen ohjauksen ja valvontaan räätälöidyt ohjelmat
Kenttätaso	Kenttätason säätimet, joihin integroidut ohjelmat ohjaavat ja säätävät erillisiä laitteita

### 2.1.1 Kenttätaso

Rakennusautomaatiojärjestelmän kenttälaitteet ovat mitta- ja toimilaitteita, joilla vaikutetaan järjestelmien toimintaan. Mittalaitteita ovat muun muassa lämpötila-, kosteus- ja paineanturit. Toimilaitteita ovat muun muassa prosesseja säätävät venttiilimoottorit, peltimoottorit ja taajuusmuuttajat. Kenttätasolla voi olla itsenäisiä säätimiä, kuten huonesäätimet, jotka ohjaavat paikallisesti tilan olosuhteita. (Kastner ym., 2005, s. 1184; Härkönen ym., 2012, s. 95) Kuvissa 2,3 ja 4 on esitetty tyypillisiä kenttälaitteita.



*Kuva 2. Belimon SF24A peltimoottori.*



*Kuva 3. Fidelix Multi-24 huonesäädin.*



*Kuva 4. Produal TEAT NTC10 lämpötila-anturi.*

Anturit välittävät alakeskuksille (automaatiotasolle) reaaliaikaista tietoa prosessien tilasta, mahdollistaen tilan käyttötarpeen mukaisen säädön ja ohjauksen toimilaitteilla, kuten pelti- ja venttiilimoottoreilla, mahdollistaen järjestelmien jatkuvan hallinnan. (Härkönen ym., 2012, s. 95)

### 2.1.2 Automaatiotaso

Automaatiotasolla ohjataan kenttälaitteita, jotta tilan olosuhteille asetetut suunnitelmien mukaiset arvot täyttyvät. Automaatiotason äly perustuu ohjausyksikön projektikohtaisesti räätälöityyn ohjelmistoon, joka ohjaa ja valvoo taloteknisiä järjestelmiä Input/Output-moduulien (I/O-moduulien) eli kenttälaitteiden ja alakeskusten välisiin fyysisiin liityntöihin tarkoitettujen piirikorttien avulla. Kenttälaitteet liitetään automaatiotasoon kaapeloinnilla tai langattomalla yhteydellä. (Härkönen ym., 2012, s. 94)

Kenttälaitteiden tarvitsema kaapelointi tuodaan alakeskuksen I/O-moduulien liittimille. Ohjausyksikkö kommunikoi I/O-moduulien kanssa Modbus RTU -protokollalla, käyttäen RS485 sarjaliikenneväylää, mikä mahdollistaa antureiden, pumppujen, moottoreiden, puhaltimeiden, toimilaitteiden ja monien muiden kenttälaitteiden liittämisen rakennusautomaatiojärjestelmään. Rakennusautomaatiojärjestelmän kattavuutta voidaan lisätä multi-LINK-moduuleilla, jonka avulla järjestelmään voidaan lisätä Modbus tai M-bus väyliä. (Bhatt ym., 2010, s. 15, Härkönen ym., 2012, s. 135)

Ohjausyksikkö ylläpitää tilan käyttötarpeen mukaisia olosuhteita, lukemalla mittausdataa prosesseista ja vertaamalla sitä ohjelmallisesti asetettuihin arvoihin, joita voidaan säätää graafiselta käyttöliittymältä. Tämä mahdollistaa tilan käyttötarpeen mukaisen olosuhteiden hallinnan ajankohdasta riippumatta. Ohjausyksikkö huomioi prosessin normaalista poikkeavat tilanteet ohjelman mukaisesti ja antaa hälytyksen tilanteesta riippuen.

#### 2.1.2.1 Ohjausyksikkö

Rakennusautomaation hallinta tapahtuu ohjausyksikön avulla. Fidelix Oy:n järjestelmät käyttävät FX2030A ohjausyksikköä. FX2030A:ssa on sisäinen FTP- ja webpalvelin. FX2030A:n käyttöjärjestelmänä on Windows CE Professional. Vapaasti ohjelmoitava keskusyksikkö, CPU (Central Processing Unit) käyttää PLC-ohjelmoinnin avointa IEC 61131-3 standardia. CPU:n avulla hallitaan rakennuksen ohjaukseen käytettäviä Input/Output (I/O) pisteitä. FX2030A on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Ohjausyksikkö FX2030A graafisella käyttöliittymällä.

### 2.1.2.2 I/O-moduulit

I/O pisteet jaotellaan Digital Input (DI), Digital Output (DO), Analog Input (AI) ja Analog Output (AO) pisteisiin. Kenttätason laitteet ovat kytketty I/O-moduuleihin, jotka kommunikoivat alakeskuksen kanssa. Kaikissa moduuleissa on dip-kytkin modbus osoitteen määrittämiseksi. Usein puhutaankin fyysisistä I/O pisteistä erotuksena ohjelmallisiin pisteisiin.

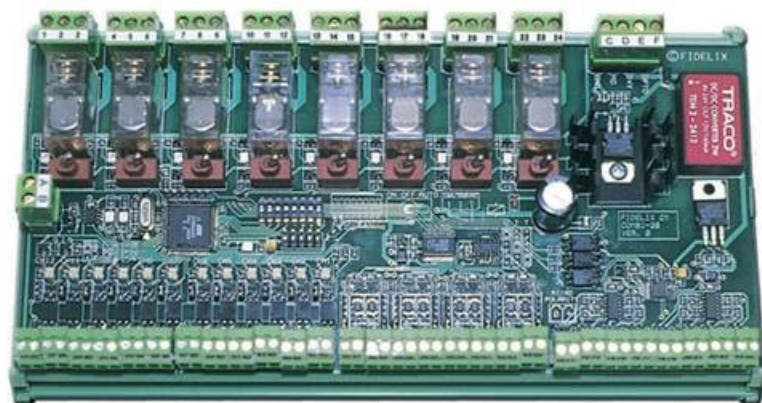
DI eli digitaalista sisääntulomoduulia käytetään potentiaalivapaiden kärkitietojen tai hälytystietojen lukemiseen ja impulssimittaukseen. DI-moduulia voidaan myös hyödyntää määrittämään, onko kaapeli ehjä. Jokainen kanava voidaan määrittää erikseen ja kanavan tila voidaan havaita visuaalisesti moduulissa olevan kanavakohtaisen LED-merkkivalon avulla. LED-merkkivalolle voidaan valita eri toimintatapoja käyttötavasta riippuen nas-tojen väliin kytkettävän oikosulkupalan avulla.

DO eli digitaalista ulostulomoduulia käytetään rakennuksen laitteiden ohjaukseen. DO-moduulin jokaisessa kanavassa on vaihtokytkinrele, jokaisessa ohjausreleessä on potentiaalivapaat vaihtokoskettimet, joita voidaan ohjata myös moduulilta käsin ohjelmoidun ulostulon ohittamiseksi. Tietoliikenteen katketessa, kukin rele voi säilyttää nykyisen tilansa tai vaihtaa esiohjelmoituun tilaan. Jokaisella releellä on oma LED-merkkivalo, joka ilmaisee releen tilan.

AI eli analogisella sisääntulomoduulilla luetaan aktiivisten ja passiivisten anturien lähettämät signaalit. Kanavat voidaan määrittää lukemaan tietoa erilaisista resistiivisistä antureista, virtasilmukoista, jänniteviesteistä ja digitaalisista laitteista. Määrittäminen tehdään anturityypin mukaisesti oikosulkupalalla. Mittausviesti muunnetaan ala-asemassa esimerkiksi jänniteviestistä lämpötilaksi muunnostaulukon avulla.

AO eli analogista säätömoduulia käytetään tuottamaan jänniteohjaussignaaleja. Kaikki lähdöt ovat oikosulkusuojattu ja voidaan itsenäisesti asettaa lähettämään signaaleja jännitevälillä 0-10V. Ulostulon vakioenimmäisvirta on 10 mA, mutta kanavan virta voidaan kaksinkertaistaa 20 mA sulkemalla liittimen vieressä oleva hyppyjohdin.

Usein on tarkoituksen mukaista käyttää COMBI 36 sisään-/ulostulo yhdistelmämoduulia, joka sisältää 12 digitaalista sisääntuloa, 8 analogista sisääntuloa, 8 digitaalista ulostuloa ja 8 analogista ulostuloa. Kuvassa 6 on esitetty Fidelix Combi 36-moduuli.



Kuva 6. Fidelix Combi 36-moduuli.

### 2.1.3 Hallintotaso

Hallintotasolla tarkoitetaan rakennuksessa olevia tai etänä olevia PC-koneita, joiden avulla RAU-järjestelmää voidaan ohjata ja valvoa. Hallintatasoa voidaan pitää rajapintana järjestelmien ja ylläpidosta vastaavan tahon välillä, jota hyödynnetään tyypillisesti rakennuksen etävalvontaan. (Kastner ym., 2005)

Valvomojärjestelmä parantaa kiinteistön taloteknisten järjestelmien ylläpidon joustavuutta ja hallintaa kustannustehokkaasti. Valvomojärjestelmän hyöty suhteessa hankintahintaan on merkittävä. Hyöty korostuu erityisesti tapauksissa, joissa valvonta suoritetaan etäyhteyden avulla. Etäyhteyden avulla voidaan hallita ja valvoa useiden kiinteistöjen taloteknisiäjärjestelmiä samasta työpisteestä, mikä nopeuttaa huoltoyhtiöiden reagointiaikaa mahdollisiin ongelmatilanteisiin. (Kastner ym., 2005)

### 2.1.4 Kaapelointi

Kaapeloinnin tarkoitus on yhdistää rakennusautomaation tasot yhdeksi kommunikoivaksi kokonaisuudeksi. Kaapelointiin vaikuttavia tekijöitä ovat: kaapelointi matka, kenttälaitteen käyttötarkoitus ja kenttälaitteen tarvitsema jännite. Yleisimmin käytetyt kaapelityypit ovat seuraavat (Härkönen ym., 2012, s. 134)

- Passiiviset anturit, kuten lämpötila-anturi: NOMAK 2x2x0,5+0,5
- Mittauslähettimet, kuten painelähetin: NOMAK 2x2x0,5+0,5
- Toimilaitteet, käyttöjännite 24VAC: NOMAK 2x2x0,5+0,5
- Toimilaitteet, käyttöjännite 230VAC: MMJ 4x1,5 S
- 230 VAC ohjaukset: MMJ/MMO nx1,5
- VAK väyläkaapelointi, CAT6, jos veto yli 100m -> kuitu (esim. OM3)
- Häiriönsuojaus, kuten taajuusmuuttajat: JAMAK 2x (2+1) x0,5+0,5.



### 3 Rakennusautomaatioprojekti

Rakennusautomaatioprojekti on osa rakennushanketta, joka työvaiheiden osalta sijoittuu rakennushankkeen loppuvaiheeseen. Rakennusautomaatio on sidoksissa rakennushankkeen muihin vaiheisiin useiden eri sidosryhmien kautta. Tässä luvussa esitetään rakennusautomaatioprojektin sisäinen organisaatio ja rakennusautomaation tärkeimmät sidosryhmät sekä rakennusautomaatioprojektin toteuttamiseen vaadittavat yleiset työvaiheet.

#### 3.1 Rakennusautomaation sisäinen projektiorganisaatio

Kuvassa 7 on esitetty Fidelix Oy:n sisäisen projektiorganisaation rakenne.



Kuva 7. Fidelix Oy:n sisäinen projektiorganisaatio.

Resurssilähtöisen ajattelun mukaisesti, yrityksen sisäiset resurssit, jotka ovat harvinaisia, arvokkaita ja vaikeasti matkittavia luovat pohjan kilpailuedulle suhteessa muihin yrityksiin (Kotila, 2005, s. 14) Kilpailuedun lähteenä olevat resurssit voidaan jakaa kolmeen perusryhmään (Barney, 1991, s. 101)

1. Traditionaaliset fyysisen pääoman resurssit (mm. teknologia, tuotanto, yrityksen maantieteellinen sijainti)
2. Henkisen pääoman resurssit
3. Organisaation resurssit (mm. informaatio-, koordinointi- ja suunnittelujärjestelmät)

Sisäiset resurssit ovat yhteydessä projektin tuloksellisuuteen ja niiden toimivuus näkyy projektin ulkoisille sidosryhmille kaikissa työvaiheissa. Rakennusautomaation sisäistä projektiorganisaatiota voidaan ajatella kokonaisuutena, jossa henkisen pääoman resurssit hyödyntävät fyysisen pääoman- ja organisaation resursseja kuvassa 7 esitetyn sisäisen projektiorganisaation mukaisesti.

Projektipäällikkö ja projektinhoitaja toimivat projektin avainhenkilöinä sisäisten resurssien hallinnalle ja projektin toteutukselle. Projektipäällikkö vastaa projektille asetettujen tavoitteiden, kuten aikataulun, kustannusten ja laadun saavuttamisesta. Projektipäällikkö vastaa siis sisäisten resurssien kohdistamisesta projektille laajassa mittakaavassa. Projektinhoitajan tehtävä on pilkkoa- ja kohdistaa resurssit työvaiheisiin sopiviksi projektipäällikön asettamien tavoitteiden mukaisesti. Käytettävissä olevat resurssit ovat riippuvaisia projektinlaajuudesta.

Sisäisen projektiorganisaation joustavuuden lisäämiseksi, rakennusautomaatioprojektin asennustöissä käytetään usein aliurakoitsijaa, jonka projektipäällikkö ja projektinhoitaja

kilpailuttavat. Aliurakoitsija on yritys, joka on sitoutunut toteuttamaan urakkasopimuksen mukaisen työn sopimuksen mukaisesti, mutta ei ole tehnyt suoraa sopimusta tilaajan kanssa (RT 16-10660, 1998). Rakennusautomaatioprojektissa urakkasopimus on tehty rakennusautomaatiourakoitsijan kanssa.

Käytettäessä aliurakoitsijaa, rakennusautomaatiourakoitsijan tulee hyväksyttää aliurakoitsija pääurakoitsijalla. Hyväksyttäminen tapahtuu tyypillisesti tilaajavastuuraportilla, josta selviää aliurakoitsijaksi ehdotetun yrityksen tiedot vero- ja työeläkevelvoitteiden hoitamisesta, tapaturmavakuutuksen järjestämisestä sekä noudatettavasta työehtosopimuksesta.

### 3.2 Rakennusautomaation sidosryhmät

Rakennusautomaation kannalta tärkeimpiä sidosryhmiä ovat talotekniseen suunnitteluun ja toteutukseen osallistuvat tahot, jotka yhdessä muodostavat rakennusautomaation ulkoisen projektiorganisaation. Projektiorganisaationhallinnan näkökulmasta ratkaisevaa on sidosryhmien välinen dynamiikka, johon vaikuttaa seuraavat tekijät (Kelly ym., 2004, s. 84)

- Sidosryhmän koko
- Jäsenten roolit ja yhteiset normit
- Ryhmän tavoitteet ja yhtenäisyys
- Ulkoiset tekijät, eli sidosryhmien ulkopuoliset tekijät, jotka vaikuttavat projektin toteutukseen.

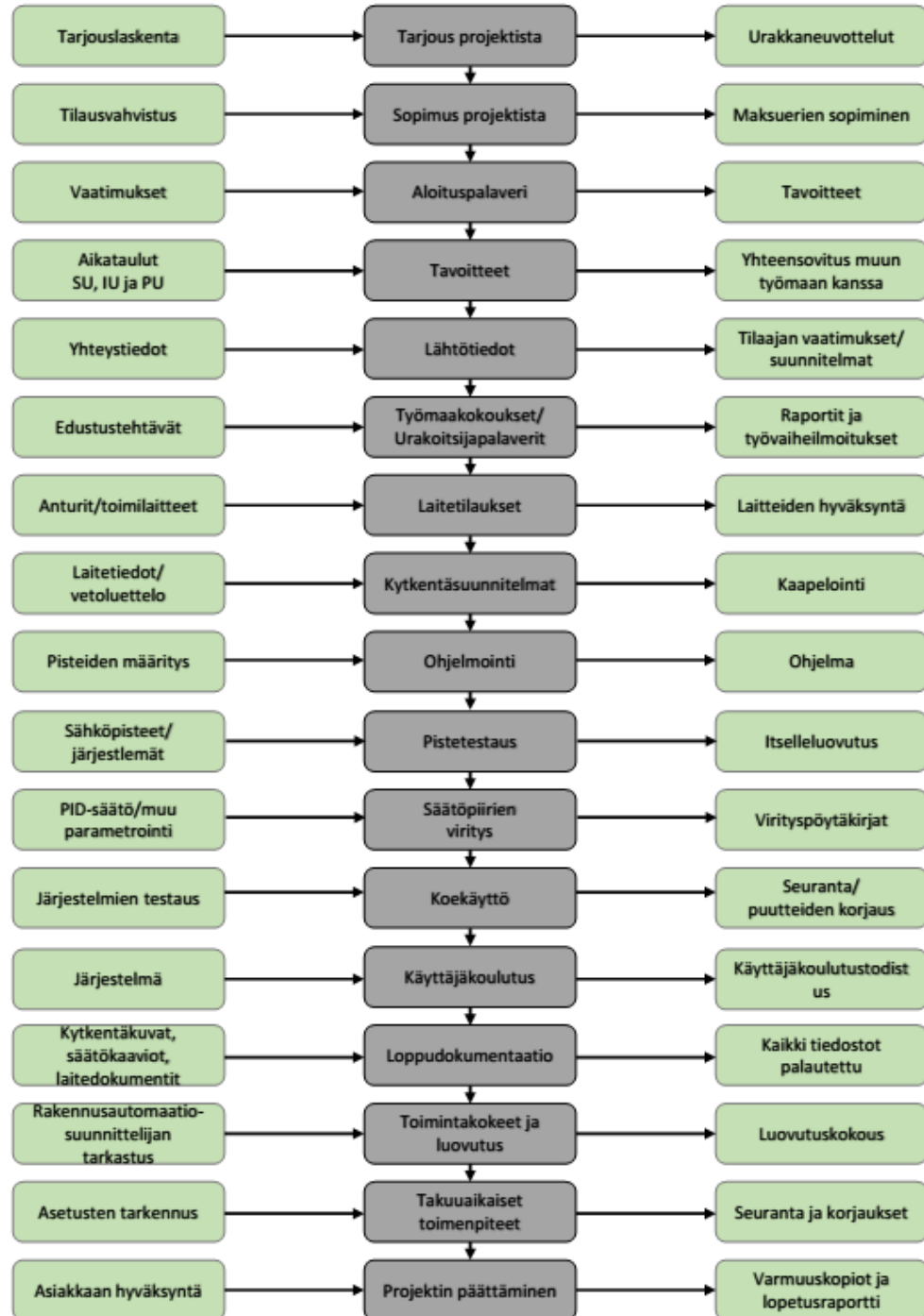
Sidosryhmien muodostamalle ulkoiselle ”hajautetulle” projektiorganisaatiolle luonteenomaista on jatkuva muutos johtuen sidosryhmien jäsenten vaihtumisesta, mikä on seurausta rakentamisen projektiluontoisesta työstä. Tutkimus osoittaa, että hajautettu organisaatio edesauttaa parhaiten informaation kulkua rakennusalalla, johtuen projektien kompleksisuudesta ja tarvittavien sidosryhmien määrästä. (Uher ym., 2004 46-47s.) Taulukossa 3 on esitetty rakennusautomaatiolle merkittävät sidosryhmät.

*Taulukko 3. Rakennusautomaation sidosryhmät ja sidosryhmien merkitys.*

Sidosryhmä	Yhteys RAU-urakoitsijaan
Pääurakoitsija	Pää- ja rakennusautomaatiourakoitsijan väliset työt ja velvoitteet
Suunnittelijat	Suunnitelmien toteutus ja muutokset
Valvojat	Laitteiden ja tehdyn työn hyväksyttäminen. Työn valvonta
Putkiurakoitsija	Putki- ja rakennusautomaatiourakoitsijan väliset työt ja velvoitteet
Sähköurakoitsija	Sähkö- ja rakennusautomaatiourakoitsijan väliset työt ja velvoitteet
Ilmanvaihtourakoitsija	Ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiourakoitsijan väliset työt ja velvoitteet

### 3.3 Rakennusautomaatioprojektin vaiheet

Tässä kappaleessa esitetään tyypilliset rakennusautomaatioprojektin vaiheet. Esitetyt työvaiheet ja niiden järjestys voi vaihdella projektista riippuen. On myös huomattava, että esitetyt työvaiheet voivat olla samanaikaisesti aktiivisena (Härkönen ym., 2012, s.32). Samanaikaisesti aktiivisena olevat työvaiheet lisäävät sidosryhmien aiheuttamaa kuormitusta ja asettavat haasteita sekä rakennusautomaatiourakoitsijan, että pääurakoitsijan projekinhallinnalle. Kuvassa 7 on esitetty rakennusautomaatioprojektin työvaiheet karkeasti jaoteltuna.



Kuva 7. Rakennusautomaatioprojektin vaiheet. (Mukaillen: Härkönen ym., 2012)

### 3.3.1 Sopimus projektista

Rakennushankkeissa rakennusautomaatiourakan tilaajana toimii usein pääurakoitsija tai LV-urakoitsija. Tilaaja lähestyy rakennusautomaatiourakoitsijaa urakkatarjouspyynnöllä. Urakkatarjouspyynnön liitteinä ovat tyypillisesti urakkaohjelma, urakkarajaliite, työselostukset, säätökaaviot ja pisteluettelot.

Urakkatarjouspyynnön liitteiden pohjalta lasketaan tarjous urakasta. Mahdollisista urakkaan vaikuttavista asioista voidaan keskustella urakkaneuvotteluissa. Urakan hinta määräytyy urakkaan kuuluvista järjestelmistä, urakkarajoista ja niiden aiheuttamista työ kustannuksista, jotka määräytyvät urakan laajuuden ja kompleksisuuden mukaisesti. Sopimusehtona noudatetaan tyypillisesti rakennusalalla käytössä olevia rakennusurakan yleisiä sopimusehtoja, YSE 1998 (RT 16-10660, 2016).

YSE 1998 mukaisesti, sopimusasiakirjat täydentävät toisiaan siten, että yhdessäkin asiakirjassa annettu urakkaan liittyvä määräys katsotaan päteväksi, vaikka se puuttuisi muista sopimusasiakirjoissa. Jos sopimusasiakirjat ovat sisällöltään ristiriitaisia, on eri asiakirjojen määräysten keskinäinen pätevyysjärjestys. Asiakirjojen keskinäinen pätevyysjärjestys on esitetty taulukossa 4. (RT 16-10660, 2016).

*Taulukko 4. Asiakirjojen keskinäinen pätevyysjärjestys.*

Kaupalliset asiakirjat	1. Urakkasopimus
	2. Urakkaneuvottelupöytäkirja
	3. Rakennusalan yleiset sopimusehdot
	4. Tarjouspyyntö ja ennen tarjouksen antamista annetut kirjalliset lisäselvitykset
	5. Urakkaohjelma tai muut sopimuskohtaiset urakkaehdot
	6. Urakkarajaliite
	7. Tarjous
	8. Määrä- ja mittaluettelot
	9. Muutostöiden yksikköhintaluettelo
Tekniset asiakirjat	10. Työkohtaiset laatuvaatimukset ja selostukset
	11. Sopimuspiirustukset
	12. Yleiset laatuvaatimukset ja työselostukset

### 3.3.2 Aloituspalaveri

Aloituspalaveri pidetään, kun rakennusautomaatiourakasta tarjouksen tehnyt urakoitsija ja tilaaja ovat päässeet sopuun rakennusautomaatiourakan hinnasta ja ehdoista. Aloituspalaveriin osallistuvat sisäisen projektiorganisaation henkilöistä projektipäällikkö, projektihoitaja ja projektin myyjä (myynti). (Härkönen ym., 2012, s. 35)

Aloituspalaverin yhteydessä asetetaan projektille sisäiset tavoitteet. Tavoitteet määräytyvät tyypillisesti urakka-asiakirjoissa määritettyjen tavoitteiden mukaisesti ja ovat usein sidoksissa aikatauluun. (Pierce 2003, 3-7 s.) Aloituspalaverissa käydään läpi sisäisten resurssien optimaalinen hyödyntäminen projektin toteutusta varten, missä korostuu organisaatio resurssien toimivuus.

Aloituspalaverin tarkoitus on siirtää informaatio kokonaisvaltaisesti projektinhoitajalle projektin toteutuksen ja töiden suunnittelun aloittamista varten. Tärkeitä dokumentteja ovat urakkatarjouspyynnössä esitetyt kaupalliset ja tekniset asiakirjat, jotka tulostetaan fyysiseen projektikansioon digitaalisen kansion lisäksi. (Härkönen ym., 2012, s.35)

### 3.3.3 Töiden suunnittelu

Töiden suunnittelu on olennainen osa projektinhallintaa projektin toteutuksen tueksi. Projektinhallintaa tulee suunnitella seuraavista näkökulmista (Pierce 2003, 3-7 s.)

- **Aikataulu.** Tehtävät työvaiheet ja niiden järjestys tulee suunnitella etukäteen, jotta määrätty aikataululliset tavoitteet saavutetaan
- **Kustannukset.** Työt tulee suorittaa tehokkaasti, jotta urakanhinnalle asetetut vaatimukset saavutetaan
- **Resurssit.** Resurssien (työvoima, työkalut, laitteet) käyttö tulee huomioida ja sovittaa aikatauluun sekä laskutukseen. Työt tulee suunnitella niin, että oikea määrä resursseja saadaan oikeaan paikkaan oikeaan aikaan
- **Talous.** Aikataulu ja resurssit tulee muuttaa tuotoksi työvaiheittain projektin toteuttamisen edistämiseksi.

Rakennusautomaatiotöiden suunnittelu on sidoksissa yllämainittuihin näkökulmiin ja koko projektin toteutuksen kattavaan analysointiin. Työvaiheiden perusteella, rakennusautomaatiotöille voidaan luoda oma aikataulu, joka on yhteydessä pääurakoitsijan yleis-aikatauluun ja muiden sidosryhmien aikatauluun (Härkönen ym., 2012, s.36). Rakennusautomaatiotöiden aikataulun suunnittelusta ja valvonnasta ovat vastuussa projektipäällikkö ja projektinhoitaja.

Kustannukset määräytyvät työvaihekohtaisesti vaadittavista resursseista ja aikataulusta. Työvaiheiden vaatimia resursseja ovat työvoima, työhön tarvittavat varusteet ja toteutukseen vaadittavat laitteet sekä suunnitelmamateriaali. Resurssien puutteellisuus venyttää aikataulua ja kasvattaa kustannuksia, mikä heikentää työn tuottavuutta ja tuloksellisuutta. Projektinhoitajan tulee varmistua, että aliurakoitsijalla on mahdollisuus toteuttaa suunniteltu työvaihe, mikä asettaa vaatimuksia työvaiheen tilan/järjestelmän valmiusasteelle, oikeille laitetilauksille ja tarvittaville suunnitelmamateriaaleille, jotka mahdollistavat työn toteutuksen jatkuvuuden aikataulun mukaisesti. Työt tulee suunnitella niin, että työturvallisuus on taattu jokaisessa työvaiheessa.

Töiden suunnittelun tulee edetä taloudelliselta pohjalta. Projektin laskutus tapahtuu tilaajan kanssa määritetyn maksuerätaulukon mukaisesti. Urakkasopimuksen yhteydessä on tyypillisesti sovittu maksuerätaulukko, jossa urakkahinta on jaettu työvaiheen laajuutta vastaaviin maksueriin. Projektin taloudellisen kestävyys kannalta on oleellista, että laskutus seuraa tehtyjä työvaiheita, eli työvaiheen vaatimat kustannukset muutetaan tuotoksi. Rakennusalan yleisten sopimusehtojen mukaisesti, sopimukseen perustuvat laskut on maksettava, kun lasku on esitetty tilaajalle ja vastaava sopimuksen mukainen vaihe on todettu tehdyksi tai lasku on muuten todettu maksukelpoiseksi (RT 16-10660, 2016).

### 3.3.4 Työmaakokoukset ja urakoitsijapalaverit

Työmaakokoukset ja urakoitsijapalaverit toimivat projektinhallinnan työkaluina, niin rakennusautomaatiourakoitsijalle kuin pääurakoitsijalle. Näiden perusteella voidaan tarkentaa omalle työlle laadittua aikataulua ja tarkentaa omien työvaiheiden suunnittelua sekä keskustella urakoitsijoiden kanssa tulevien työvaiheiden yhteensovittamisesta.

Työmaakokous on urakkaan kuuluva virallinen tilaisuus, jossa käsitellään ennalta sovit-  
tuja asioita. Työmaakokouksien tiheydestä on voitu sopia jo rakennusrakkasopimuksen  
solmimisen yhteydessä. Muutoin voidaan sopia, että kokouksia pidetään erikseen sovit-  
tavin väliajoin tai tarvittaessa. Työmaakokouksen tarpeellisia osapuolia ovat yleensä: ti-  
laaja, rakennuttaja, työmaan valvoja, pääurakoitsija, sivu-urakoitsijat, suunnittelijat ja  
työmaan muut toimijat tarpeen vaatiessa. Työmaakokouksessa voidaan käsitellä mitä ta-  
hansa rakennustyöhön liittyvää asiaa pois lukien muutokset sopimusehdoissa ja sopimuk-  
sen sisällöstä. Työmaakokoukset parantavat tiedonkulkua osapuolten välillä ja antavat  
työkalun ratkaista sekä tehdä päätöksiä ongelmatilanteisiin. (RT 16-10837, 2005)

Urakoitsijapalaveri on työmaalla viikoittain järjestettävä palaveri, jonka vetovastuu on  
pääurakoitsijalla. Urakoitsijapalaverin tarkoitus on sovittaa urakoitsijoiden työvaiheet  
niin, että työsuoritusten päällekkäisyyksiltä vältytään. Urakoitsijapalaveri toimii työka-  
luna työvaiheiden toteutuksen seurantaan ja mahdollisten suunnitelmapuutteiden läpi-  
käyntiin. Urakoitsijapalaverissa voidaan myös käsitellä mahdollisista muutos- ja lisä-  
töistä. (Härkönen ym., 2012, s. 35) Projektinhoitajan tehtävä on toimittaa pääurakoitsi-  
jalle työvaiheilmoitus, josta ilmenee

1. Työvoima, toimihenkilöt + asentajat
2. Työvaiheet ja niiden valmiusaste
3. Aikataulutilanne
4. Suunnitelmatilanne
5. Pidetyt tarkastukset ja kokeet
6. Mahdolliset lisä- ja muutostyötarjoukset
7. Hyväksyttävät toimittajat, materiaalit ja alihankkijat
8. Mahdolliset muut asiat.

Urakoitsijoiden toimittamien työvaiheilmoitusten avulla pääurakoitsija ja sekä muut ura-  
koitsijat saavat päivitetyn tiedon työvaiheista, oman projektinhallinnan tueksi. Tämä  
mahdollistaa urakoitsijoiden omien aikataulujen ja suunnitelmien tarkentamisen resurs-  
sien hallinnan tueksi.

### 3.3.5 Laitetilaukset

Rakennusautomaatiourakoitsijan urakkaan kuuluvat laitetilaukset määräytyvät urakkaso-  
pimuksen mukaisesti. Tyypillisesti rakennusautomaatiourakoitsijalle kuuluvat automaa-  
tiasojen mukaiset kenttälaitteet ja järjestelmät.

Urakkalaskennan tarjousmateriaaleissa on usein esitetty laiteluettelo, jossa on määritetty  
taloteknistenjärjestelmien kenttälaitteet ja niiden vaatimukset. Sääntökaaviot sisältävät jär-  
jestelmien hallintaan käytettävät kenttälaitteet pistekohtaisesti. On myös mahdollista,  
että urakoitsijat ostavat toisiltaan laitteita ja palveluita, jotka eivät alkuperäisen urakka-  
sopimuksen perusteella kuulu urakkaan. Nämä palvelut, laitetoimitukset, asennukset ja  
kytkennät toteutetaan lisätyönä. (Härkönen ym., 2012. s.37)

Rakennusautomaatioprojektin alkuvaiheeseen sijoittuvat laitetilaukset ovat tyypillisesti  
muille urakoitsijoille toimitettavat venttiilirungot ja mahdollisesti urakan yhteydessä tila-  
tut vesimittarit. Muut laitetilaukset toimitetaan työvaiheesta riippuen työmaalle. (Härkö-  
nen ym., 2012, s.37)

Venttiilirungot toimitetaan kohteisiin, joissa on lämmönjakokeskus. Lämmönjakokeskus  
on järjestelmä, joka siirtää energialaitoksen tuottaman lämpöenergian kiinteistön

verkostoon. Lämmönjakokeskus koostu lämmönsiirtimistä, jotka siirtävät lämpöä ensiöpuolelta kulkevasta kuumasta vedestä toisiopuolelle kiinteistön omaan verkostoon. Ensiöpuoli sisältää putkiston ja laitteiden osat, joissa kaukolämpövesi virtaa tai joihin sen paine vaikuttaa. Toisiopuoli sisältää putkiston ja laitteet, joissa lämmönsiirtimissä lämmitetty neste virtaa tai joihin sen paine vaikuttaa. Venttiilirunkojen valinta riippuu suunnitelmissa määrätystä arvoista veden virtaamalle ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ) ja painehäviölle (kPa), jotka vaikuttavat venttiilin kokoon (DN) ja KVS-arvoon eli suurimpaan mahdolliseen läpäisykykyyn venttiilin ollessa täysin auki ( $\text{m}^3/\text{h}$ ). KVS- arvo on verrannollinen prosessin Kv-arvolle. (Suomen Kaukolämpö ry, 2003).

Rakennusautomaatiourakoitsija valitsee suunnitteluarvot toteuttavat venttiilirungot ja hankkii venttiileille hyväksynnän. Espoossa hyväksynnän antaa Fortum, muutoin hyväksynnän antaa projektin LVIA-valvoja. Venttiilirungot toimitetaan lämmönsiirrin valmistajalle, joka asentaa venttiilit lämmönjakokeskukseen.

Sopimuksesta riippuen rakennusautomaatiourakoitsija voi toimittaa kiinteistöön vedenmittausjärjestelmän. Vedenmittausjärjestelmä koostuu vesimittareista, jotka liitetään väylän avulla alakeskukseen. Vesimittarien toimituksen ajankohta riippuu rakennuksen rakennustavasta. Vesimittarit on mahdollista sijoittaa tehtaalla valmistettaviin elementteihin tai asentaa työmaalla, jossa putkiurakoitsija asentaa vesimittarit putkitöiden yhteydessä.

Alakeskuskaapit kuuluvat rakennusautomaatiourakoitsijan ensimmäisiin laitetoimituksiin työmaalle. Projektinhoitaja määrittää alakeskuskaappien sisällön säätökaavion vaatimusten perusteella. Säätökaavioissa esitettyjen DI-, DO-, AI- ja AO-pisteiden lukumäärä vaikuttaa I/O-moduulien tyypin valintaan. Alakeskuskaappien suunnittelussa tulee huomioida myös muut alakeskukseen sijoitettavat laitteet, kuten jäätymisvaaratermostaattit ilmanvaihtokoneille ja Multilink mediamuuntimet. Alakeskuksen layout tehdään CAD-ohjelmistolla, jonka perusteella tuotanto-osasto valmistaa kohteen suunnitelmien mukaisesti räätälöidyn alakeskuskaapin, johon huomioidaan varaus järjestelmän laajentamiselle tulevaisuudessa.

Muut kenttälaitteet toimitetaan työmaalle, kun aliurakoitsijan työvaiheet on mahdollista aloittaa. Projektinhoitajan tulee varmistua, että kenttälaitteet toteuttavat suunnitelmien vaatimukset, kenttälaitteille hankitaan hyväksyntä tarvittaessa LVIA-valvojalta. Hyväksyntä vaaditaan mm. esitettäessä korvaavaa laitetta suunnittelun tilalle tai asennettaessa kenttälaite tilan loppukäyttäjän nähtävissä olevalle paikalle. Kaikkiin kenttälaitteisiin tulee liittää laitekilpi, josta ilmenee laitteen pistetunnus ja käyttötarkoitus.

Laitteiden tilaukset tulee huomioida omantöön suunnittelussa, jotta suunnitelmien mukaisia laitteita on oikea määrä oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Projektinhoitajan on oltava tietoinen työmaan yleisestä vaiheesta sekä oman tuotannon läpimenoajasta, varmistuakseen oikeasta tilausajankohdasta.

### 3.3.6 Kytkentäsuunnitelmat

Kytkentäsuunnitelmat tehdään säätökaavioiden perusteella. Kenttälaitteet kytketään kaapeloinnin välityksellä (pl. langattomat kenttälaitteet) alakeskuksen I/O-moduuleiden pisteisiin, jonka konkretisoiminen vaatii vetoluettelon ja kytkentäkuvat.

Vetoluettelon ja kytkentäkuvien toteuttaminen vaatii säätökaavion pisteiden läpikäyntiä. Säätökaaviossa esitetyt pisteet yksilöidään Fidelix Oy:n kehittämään FX-editoriin

pistetunnuksella, joka koostuu tyypillisesti järjestelmätunnuksesta ja laitetunnuksesta pistetyyppin mukaisesti. Pisteiden yksilöinnin yhteydessä, pisteelle määritetään osoite. Osoite ilmaisee kytkettävän pisteen sijainnin I/O-moduulilla.

Vetoluettelossa yhdistetään kenttälaitteen pistetunnus ja alakeskus sekä kaapelityyppi, joka vedetään alakeskuksen ja kenttälaitteen välille. Pistetunnuksen lisäksi vetoluettelossa on esitetty kenttälaitte sanallisesti. Kytkenäkuvissa yhdistetään vetoluettelossa esitetyt tiedot pisteiden osoitteisiin, mikä mahdollistaa aliurakoitsijan kytkentätyön

Suunnitelmien laatu ja toteutettavuus vaikuttavat vetoluettelon ja kytkentäluettelon laadintaan. Suunnitelmien ollessa puutteellisia, vetoluetteloa ja kytkentäluetteloa joudutaan muokkaamaan useaan otteeseen, mikä lisää urakoitsijoille aiheutuvaa työmäärää ja lisää hukan syntymisen riskiä. Kaikki riskitekijät vaikuttavat suoraan pääurakoitsijan ja muiden urakoitsijoiden aikatauluun ja mahdollisiin lisäkustannuksiin.

### 3.3.7 Graafinen käyttöliittymä ja ohjelmointi

Graafisella käyttöliittymällä on suuri merkitys, kuinka käyttäjä tulkitsee järjestelmää. Graafinen käyttöliittymä toimii rajapintana järjestelmien ja järjestelmiä operoivan käyttäjän välillä, minkä vuoksi graafinen käyttöliittymä tulee suunnitella käyttäjälähtöisesti. Käyttäjälähtöisyydellä tavoitellaan ideaalista käyttäjäkokemusta. Käyttäjäkokemusta voidaan kuvata kuvan 8 elementtien avulla. (Valtiovarainministeriö, 2008, s. 12)



Kuva 8. Käyttäjäkokemuksen elementit.

Järjestelmien prosessikaavioiden tulee olla selkeästi löydettävissä graafisessa käyttöliittymässä prosessikohtaisesti, mikä nopeuttaa järjestelmien hallintaa. Graafisen käyttöliittymän virheettömyys ja toimivuus yhdistettynä graafisten esitysten olennaisuuteen lisää järjestelmän helppokäyttöisyyttä ja toisaalta parantaa järjestelmän opittavuutta. Kaikki edellä mainitut tekijät yhdessä luovat käyttäjäkokemukseen, mikä mahdollistaa järjestelmien tehokkaan ja tarkoituksenmukaisen operoinnin tuoden arvoa tilan loppukäyttäjälle.

Graafinen käyttöliittymä toteutetaan FX-editorilla, jossa luodaan dynaamiset prosessikaaviot. Prosessikaavioihin linkitetään säätökaavion mukaiset kenttälaitteet pistetunnuksilla, joka mahdollistaa prosessin reaaliaikaisen valvonnan ja manuaalisen säätämisen.

Ohjelmointi toteutetaan OpenPCS ohjelmalla. Ohjelmointi tapahtuu kansainvälisen standardin IEC 61131-3 mukaisella Structure Text (ST) ohjelmointikielellä. Ohjelmoinnin



perusidea on lukea tietoa fyysisiltä- ja fiktiivisiltä pisteitä, joita vertaillaan graafiselta käyttöliittymältä aseteltaviin arvoihin ja ehtoihin. Näiden perustella ohjelma ohjaa prosessien toimintaa ohjaus ja säätökäskyillä saavuttaakseen ja ylläpitääkseen halutut olosuhteet.

Graafisen käyttöliittymän ja ohjelmien toimivuus testataan toimistolla lataamalla graafinen käyttöliittymä ja ohjelma keskusyksikköön, jossa toimintaselostuksen mukainen toiminta normaali- ja häiriötilanteissa tarkistetaan ennen käyttöönottoa työmaalla.

### 3.3.8 Omat toimintakokeet

Omissa toimintakokeissa ovat osallisena projektinhoitaja ja aliurakoitsija. Omien toimintakokeiden edellytyksenä on pistetestauksen suorittaminen. Pistetestauksen tarkoituksena on varmistua fyysisten pisteiden toimivuudesta keskusyksikön graafisen käyttöliittymän ja kenttälaitteen välillä. (Härkönen ym., 2012, s. 41) Pistetestaus on riippuvainen pisteen tyypistä, yleisimmät pistetestausmenetelmät ovat esitetty taulukossa 5.

*Taulukko 5. Pistetestausmenetelmät.*

DI-piste (tilatietopiste)	Laite ohjataan päälle/pois, tilatiedon tulisi muuttua ohjauksen mukaisesti graafisessa käyttöliittymässä. Kaapelit voidaan myös kytkeä oikosulkuun ja näin varmistaa kytketyn pisteen oikeanmukaisuudesta.
AI-piste (mittauspiste)	Menetelmä riippuu anturityypistä. Tyypillisesti anturi kytkeään oikosulkuun ja tarkistetaan, että graafinen käyttöliittymä näyttää anturi vikaa kyseisen pisteen kohdalla.
DO-piste (ohjauspiste)	Laite ohjataan päälle/pois graafiselta käyttöliittymältä. Varmistutaan, että näin todellisuudessa tapahtuu.
AO-piste (säätöpiste)	Laitteelle ohjataan eri säätöviestejä graafiselta käyttöliittymältä. Varmistutaan, että säätöviestit tulevat perille ja tarkistetaan laitteen ajosuunta.

Pistetestauksesta tehdään pistetestauspöytäkirja, jossa todetaan pisteiden toimivuus ja mahdolliset puutteet sekä niiden syyt. Pistetestauksen tulokset kirjataan pistetestauspöytäkirjaan, josta ilmenee testatut pisteet ja havaitut puutteet. (Härkönen ym., 2012, s. 41)

Omat toimintakokeet eli itselleluovutus voidaan suorittaa, jos järjestelmän pistetestaus on suoritettu ja pääurakoitsija on antanut luvan omien toimintakokeiden suorittamiseen. Viimeistään omien toimintakokeiden yhteydessä, järjestelmien säädöt tulee virittää optimaalista toimintaa varten.

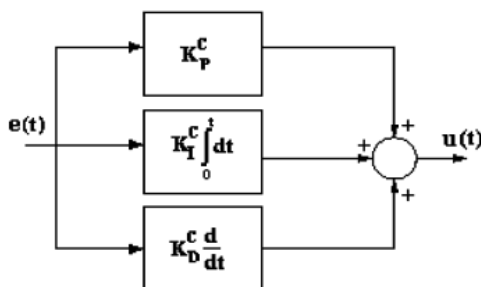
### 3.3.9 Säädöt, viritykset ja mittaukset

Yleisempiä säädettäviä ja viritettäviä laitteita ovat lämmönjakokeskus ja taajuusmuuttaja ohjatut ilmanvaihtokoneet, joiden ohjaukseen käytetään tyypillisesti PI /PID-säätöä (Proportional-Integral-Derivative-säätö). PID-säädin on säätöalgoritmi, joka ohjaa prosessia kolmen määritettävän parametrin avulla. Alla on esitetty PID-säädön matemaattinen notatio. (Åström, 2002, s. 217)

$$u(t) = K \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

missä  $u(t)$  = Lähdön ohjausarvo  
 $K$  = Vahvistuskerroin  
 $T_i$  = Integrointiaika  
 $T_d$  = Derivointiaika  
 $e$  = mitatun arvon ja asetuseron eroisuure

PID-säätö lukee järjestelmän anturilta mittaustietoa ja laskee lähdön ohjausarvon vertaamalla mittaustietoa asetuseroon. Lähdön ohjausarvoon vaikuttavat matemaattisen notatation mukaisesti vahvistuskerroin, integrointiaika ja derivointiaika. Vahvistuskerroin  $K$ , määrittää suhdetta ohjausarvon ja erosuureen välillä. Integrointiaika kuvaa erosuureen summaa ajan suhteen pyrkien poistamaan jatkuvuustilan virheen. Derivointiaika vaikuttaa ohjaussignaalin arvon muutosnopeuteen ajan suhteen. Kuvassa 8 on esitetty PID-säätimen lohkokkaavio. (Mohan, 2008, s. 52).



Kuva 8. PID-säädön lohkokavio (Mohan, 2008, s. 52).

### 3.3.10 Urakoitsijoiden väliset toimintakokeet

Urakoitsijoiden toimintakokeet pidetään ennen tilaajan toimintakokeita. Urakoitsijoiden toimintakokeisiin osallistuvat tyypillisesti rakennusautomaatiourakoitsija, sähköurakoitsija, putkiurakoitsija ja ilmanvaihtourakoitsija. Urakoitsijoiden toimintakokeiden edellytyksenä on valmius suorittaa toimintakokeet urakoitsijakohtaisesti, eli järjestelmien valmiusaste urakoitsijakohtaisesti tulee olla riittävä toimintakokeiden suorittamiseksi. (Härkönen ym., 2012, s. 41)

Urakoitsijoiden välisistä toimintakokeista laaditaan pöytäkirjaa, joka toimitetaan pääurakoitsijalle ja LVIA-valvojalle. Urakoitsijoiden väliset toimintakokeet antavat aikaa korjata havaitut puutteet, ennen tilaajan toimintakokeita.

### 3.3.11 Tilaajan toimintakokeet

Tilaajan toimintakokeissa ovat tyypillisesti läsnä rakennusautomaatiourakoitsija, valvojat, suunnittelijat ja muut talotekniikka urakoitsijat. Toimintakokeiden laajuus riippuu

toimintakokeiden valvojasta ja kohteesta. Toimintakokeissa tarkastetaan fyysisten pisteiden toimivuus, järjestelmien säädöt ja toimintaselostuksen mukainen toiminta. Tärkeimpiä tarkastettavia toimintoja ovat IV-hätäseis, jäätymisvaaran lukitus ja ennakointi, palohälytys ja keskeisimmät säädöt, jotka ohjaavat LVI-järjestelmiä. Edellä mainittujen toimintojen toimivuus mahdollistaa tilan käyttöönottoon tarvittavan luvan viranomaisilta. Toimintakokeet voidaan myös suorittaa vaiheittain järjestelmäkohtaisesti projektin laajuudesta riippuen. (Härkönen ym., 2012, s. 42)

Jos toimintakokeissa havaitaan merkittäviä puutteita, toimintakokeet keskeytetään ja uusitaan määrättyä ajankohtana. Jos puutteet ovat pieniä, voidaan niille määrätä jälkitarkastuspäivämäärä. Havaitut puutteet tulee olla korjattuna jälkitarkastuspäivämäärään mennessä, jolloin suoritetaan uusintatarkastus. Kun toimintakokeet ovat suoritettu hyväksytysti, voidaan siirtyä tilojen käyttöönottoon ja luovutusvaiheeseen. (Härkönen ym., 2012, s. 42)

### **3.3.12 Luovutus ja takuu aika**

Projektinluovutus suoritetaan, kun tilaajan toimintakokeet ovat suoritettu ja rakennusautomaatiojärjestelmän on todettu toimivan suunnitellusti koekäytön ajan. Luovutukseen kuuluu kiinteistön ylläpidosta ja käytöstä vastaaville henkilöille pidettävä käyttäjäkoulutus ja luovutusmateriaalin dokumentointi. Käyttäjäkoulutuksessa käsitellään rakennusautomaatiojärjestelmän toiminta ja hallinta yhdessä tilan loppukäyttäjän kanssa, jonka toimintaa tukevat luovutusmateriaalit. Luovutusmateriaaleja eli Luovutuskansioita toimitetaan urakkasopimuksen mukaisesti, tyypillisesti kolme sarjaa. Luovutuskansioon liitetään tyypillisesti seuraavat asiakirjat (Härkönen ym., 2012, s. 42)

- Lopulliset automaatio toteutuksen dokumentit
- Kytkentäkuvat
- Järjestelmäkaaviot
- Pisteluettelo
- Ohjelmalistaukset
- Laite-esitteet ja laitteiden tekniset tiedot.

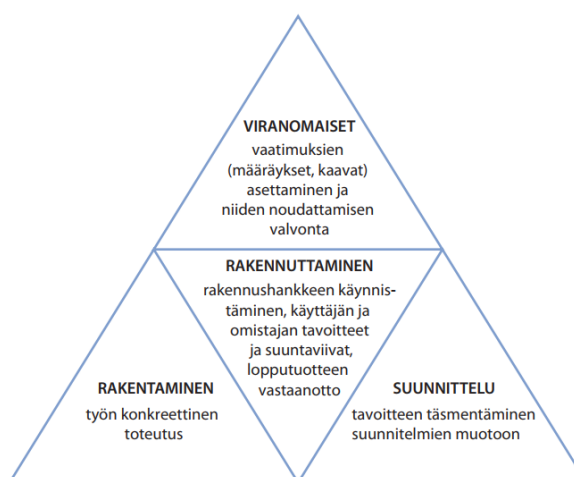
Hyväksytyn koekäytön ja luovutuksen jälkeen alkaa takuu aika. Takuu aikana rakennusautomaatiourakoitsija on veloitettu korjaamaan laite- ja ohjelmaviat omalla kustannuksellaan.

## 4 Rakennushanke ja sen sidosryhmät

Tässä kappaleessa käsitellään rakennushanketta ja siihen osallistuvia sidosryhmiä sekä rakennusautomaation projektinhallintaa osana rakennushanketta. Sidosryhmiä ja rakennushankkeen vaiheita käsitellään yleisellä tasolla, rakennusautomaatioon vaikuttaviin tekijöihin perehdytään yksityiskohtaisesti. Rakentamisvaiheeseen linkittyviä rakennusautomaation työvaiheita tarkastellaan lean-filosofian ja laatujohtamisen näkökulmasta, tunnistuen arvoa tuottavia ja hukkaa synnyttäviä tekijöitä.

### 4.1 Sidosryhmät

Rakennuttamisen keskeisiä tehtävänimikkeitä ovat rakennushankkeeseen ryhtyvä, rakennuttaja ja tilaaja. Edellä mainituilla tehtävänimikkeillä voidaan tarkoittaa samaa tahoja, josta voidaan käyttää termiä rakennuttaja. Kuvassa 8 on esitetty rakennushankkeen sidosryhmät ja sidosryhmien tehtävät. (RT-1011222, 2016, s. 1)



Kuva 8. Rakennushankkeen sidosryhmät ja tehtävät.

Rakennusautomaatio linkittyy kaikkiin edellä mainittuihin sidosryhmiin rakennushankkeen vaiheesta riippuen. Seuraavissa kappaleissa käsitellään rakennusautomaatioprojektiin vaikuttavia sidosryhmiä ja niiden tehtäviä.

#### 4.1.1 Rakennushankkeen tilaaja

Rakennushankkeeseen ryhtyvän eli tilaajan vastuulla on vastata rakentamisen organisoinnista ja määrittää toimeenpanevat vastuu elimet liittyen rakentamisen tehtäviin. Yleisen käytännön mukaisesti, rakennushankkeeseen ryhtyvä hankkii sopimusjärjestelyin toisen osapuolen hoitamaan rakennushankkeen läpiviemiseksi tarkoitettuja rakennuttajatehtäviä. Maankäyttö- ja rakennuslain tarkoittama huolehtimisvelvollisuus velvoitteiden hoitamisesta säilyy kuitenkin rakennushankkeeseen ryhtyvällä itsellään. (Maankäyttö- ja rakennuslaki MRL, 1999/132, 119§; RT-1011222, 2016, s. 1)

Lähtökohtaisesti tilaaja on pääurakoitsijan sopimuskumppani, joka on tilannut urakan urakkasopimuksen mukaisesti. Urakkasopimus on tilaajan ja urakoitsijan välinen allekirjoitettu asiakirja tietyn työtuloksen aikaansaamiseksi sovittua hintaa tai veloitusterustetta vastaan. Tilaajana voi toimia myös rakennuttaja tai urakoitsija. (RT 16-10660, 1998)

Tilaaja määrittää rakennushankkeen toiminnalliset, tekniset ja laadulliset vaatimukset, jotka ovat sidoksissa rakennuksen käyttötarkoitukseen. Tilaajalla voi olla useita rooleja rakennushankkeessa. Tilaaja voi olla rakennuksen omistaja, tilojen loppukäyttäjä tai

hankkeen rahoittaja. Tyypillisimpiä suuren volyymin tilaajia ovat (Hanhijärvi, 2003, s. 14)

- Suuret teollisuuden ja kaupan yritykset
- Valtio ja kunnat
- Kiinteistösjöittäjat
- Vakuutusyhtiöt
- Vuokra-asuntojen omistajat
- Rakennusliikkeet.

Rakennushankkeen tilaajan rooli rakennusautomaatiourakoitsijalle vaihtelee projektikohtaisesti. Lähtökohtaisesti tilaajan rooli korostuu rakennusautomaatioprojektin alkuvaiheessa, neuvoteltaessa rakennusautomaatiourakasta. Tilaajan määrittämät toiminnalliset, tekniset ja laadulliset vaatimukset ovat sidoksissa hankkeen rakennusautomaatiosuunnitelmiin, jotka vaikuttavat urakalaskentaan.

#### **4.1.2 Rakennuttaja**

Rakennuttaja määritellään luonnollisena tai juridisena henkilönä, jonka lukuun rakennustyö tehdään ja joka vastaanottaa työntuloksen. Termiä rakennuttaja käytetään rakennusalan sopimusasiakirjoissa. Rakennuttaja on juridisesti tilaaja häneen suorassa sopimussuhteessa oleviin muihin rakennushankkeen osapuoliin, kuten pääurakoitsijaan nähden. (RT-1011222, 2016, s. 1)

Rakennuttaja on käytännössä maankäyttö- ja rakennuslain mukainen hankkeentoimeksiantaja, rakennuttajalla ja tilaajalla voidaan tarkoittaa samaa tahoa. Rakennuttaja muodostuu organisaatiosta, jonka vastuulle rakennuttaminen on annettu. Rakennuttaja hankkii toteutukseen tarvittavat suunnitelmat ja rahoituksen sekä solmii rakennushankkeen toteutussopimukset ja vastaa toteutussopimusten mukaisten rakennustöiden teettämisestä ja valvomisesta. Yleisesti rakennuttaja vastaa (RT-1011222, 2016; s. 2; Hanhijärvi ym., 2003, s. 15)

- Hankeen organisoinnista
- Kustannus- ja rahoitussuunnitelman ja hankkeen aikataulun laatimisesta
- Suunnittelun ja rakentamisen järjestymisestä, ohjaamisesta ja valvonnasta.

Rakennuttajan keskeinen tehtävä on saada sille määritettyjä vaatimuksia parhaiten edistävät suunnittelijat ja muut asiantuntijat. Rakennuttaja vastaa suunnittelun ohjauksella suunnitteluprosessin lopputuloksen vastaavuudesta tilaajan vaatimuksiin. Suunnittelun ohjauksen työkaluina voidaan käyttää (RT-1011222, 2016, s. 2)

- Suunnittelukokousten ja -katselmusten järjestäminen ja dokumentointi
- Ratkaisuvaihtoehtojen vertailu
- Suunnitelmien tavoitteenmukaisuuden varmistaminen.

#### **4.1.3 Urakoitsija**

Urakoitsijalla tarkoitetaan rakennustyön toteutuksesta vastaavaa organisaatiota. Rakennusalan yleisten sopimusehtojen mukaisesti, urakoitsija on tilaajan sopimuskumppani, joka on sitoutunut aikaansaamaan sopimusasiakirjoissa määritellyn lopputuloksen. Urakoitsijan päävelvollisuus on toteuttaa sopimusasiakirjojen mukainen työ, urakoitsijan velvollisuuksin kuuluvat myös yleisten sopimusehtojen asettamat velvoitteet. Urakoitsija voi

olla hankkeen päätoteuttaja, sivu-urakoitsija tai aliurakoitsija. (Hanhijärvi ym., s. 16; 2003; RT 16-10660, 2016)

#### **4.1.3.1 Pääurakoitsija**

Pääurakoitsija on rakennuttajaan sopimussuhteessa oleva urakoitsija, joka on kaupallisissa asiakirjoissa nimetty pääurakoitsijaksi ja jolle sopimuksen mukaisessa laajuudessa kuuluvat työmaan johtovelvollisuudet. Rakennusurakan yleisten sopimusehtojen mukaisesti, pääurakoitsija vastaa työmaan johtovelvollisuuksista. Rakennusurakan johtaminen tarkoittaa toimintaa, jolla järjestetään ja sovitetaan yhteen työmaalla toimivien osapuolten työskentely. Työmaan johtotehtäviin kuuluu muun muassa (RT 10-11222, 2016, s. 5)

- Työmaan hallinto, yleisjohto ja vastaavan työnjohtajan nimittäminen
- Lainsäädännön mukaiset päätoteuttajan velvollisuudet
- Työmaan aikataulujen laatiminen
- Työmaan töiden järjestäminen ja yhteensovittaminen.

Pääurakoitsijan työmaan johtovelvollisuus vaikuttaa rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallintaan. Pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalut ovat osa rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallintaa, joka ilmenee sidosryhmien töiden yhteensovittamisena ja resurssien kohdistamisena.

#### **4.1.3.2 Sivu- ja aliurakoitsija**

Sivu-urakoitsija on rakennuttajaan sopimussuhteessa oleva, pääurakkaan kuulumatonta työtä suorittava urakoitsija. Aliurakoitsija on urakoitsijan tilauksesta työtä suorittava toinen taho. Urakoitsijat voidaan valita urakkakilpailulla tai neuvottelumenettelyllä. (RT 16-10660, 1998) Urakasta riippuen, rakennusautomaatiourakoitsija voi olla pääurakoitsijan tai LVI-urakoitsijan aliurakoitsija tai toimia itse pääurakoitsijana.

#### **4.1.4 Suunnittelijat**

Suunnittelijat ovat taho, jotka vastaavat hankkeen toteutussuunnittelusta. Rakennushankkeen suunnittelusta vastaa tyypillisesti suunnitteluryhmä, joka sisältää asiantuntemusta eri suunnittelualoilta. Suunnittelualat ja niiden tehtävät määräytyvät eri tavoin rakennushankkeen ominaispiirteistä riippuen. Rakennusautomaation suunnittelun ja toteutukseen vaikuttavia suunnittelualoja ovat tyypillisesti (Hanhijärvi ym., 2003, s. 16)

- Arkkitehti
- Rakennetekninen suunnittelija
- LVI-suunnittelija
- Sähkösuunnittelija
- Automaatiosuunnittelija.

Suunnittelualasta riippumatta, suunnittelijan tulee huolehtia suunnittelemiensa ratkaisujen oikeellisuudesta niiden kestävyiden, toiminnallisuuden ja toteutettavuuden suhteen. (Hanhijärvi ym., 2003, s. 16)

#### **4.1.5 Rakennuttajakonsultti**

Rakennuttajakonsultti voi toimia tilaajan toimeksiannosta rakennushankkeessa. Rakennuttajakonsultti edustaa toimeksiantajaansa rakennushankkeen muihin osapuoliin, kuten suunnittelijoihin ja urakoitsijoihin nähden. Rakennuttajakonsultin tehtävä on valvoa toimeksiantajan etua rakennushankkeen eri vaiheissa ja tarvittaessa johtaa työmaata toimeksiannon määrittämin valtuuksin. (Hanhijärvi ym., 2003, s. 17)

#### 4.1.6 Tilan loppukäyttäjä

Rakennettujen tilojen loppukäyttäjä edustaa tahoja, jonka tilantarpeen mukaisesti hanke perustetaan ja kenen käyttöä varten tilat rakennetaan. Tilan loppukäyttäjä on siis tyypillisesti tilaajan asiakas, jonka tilan käytölliset tarpeet toimivat pohjana toiminnallisille, teknisille ja laadullisille vaatimuksille. Vaatimukset voidaan nähdä käyttäjälähtöisen toteutuksen perustana, joiden onnistunut implementointi vaatii kokonaisvaltaista rakennushankkeen ymmärtämistä asetettujen tavoitteiden konkretisoimiseksi sekä pääurakoitsijalta, että rakennusautomaatiourakoitsijalta. (Hanhijärvi ym., 2003, s. 17)

Käsite tilan loppukäyttäjä käsittää kiinteistön toiminnasta vastaavat organisaatiot, tilan varsinaiset käyttäjät ja kiinteistön ylläpidosta vastaavat organisaatiot. Tilan loppukäyttäjien tyytyväisyys on merkittävä mittari rakennushankkeen onnistumiselle. Tilan loppukäyttäjän kokemus sisätilojen olosuhteissa on sidoksissa rakennusautomaatiojärjestelmän suunnitelmiin ja säätöihin, joiden ylläpito on sidoksissa kiinteistön ylläpidosta vastaavan organisaation käyttäjäkokemukseen. (Hanhijärvi ym., 2003, s. 17)

### 4.2 Rakennushankkeen kulku

Rakennushanke on luonteeltaan dynaaminen projekti, johon liittyy useita projektin sisäisiä – ja ulkoisia epävarmuustekijöitä. Projektin sisäisiä epävarmuus tekijöitä voivat olla: projektinhallinta, sopimusten hallinta ja projektin sidosryhmien toimivuus. Ulkoisia epävarmuustekijöitä ovat taloudellinen -, sosiaalinen – ja poliittinen ympäristö. (Chan, 2004, s. 153)

Projektiin osallistuvat sidosryhmät pyrkivät hallitsemaan sisäisiä epävarmuustekijöitä ulkoisten epävarmuustekijöiden rajaamassa ikkunassa. Sidosryhmien aktiivisuus on riippuvainen hankkeen aktiivisena olevasta vaiheesta. Rakennushanketta voidaan kuvata projektina, joka muodostuu karkeasti kuvassa 9 esitetyistä vaiheista (RT 10-11224, 2016).



Kuva 9. Rakennushankkeen kulku (mukaillen RT 10-11224, 2016).

### 4.3 Tarveselvitys

Tarveselvityksessä selvitetään tilan hankinnan tarpeellisuutta tai olemassa olevan tilan muutostarvetta käyttäjälähtöisesti. Tarveselvityksessä tutkitaan tilan vaihtoehtoisia käyttömahdollisuuksia ja arvioidaan eri käyttömahdollisuuksien ja ratkaisujen vaikutuksia sekä hyötyjä. Tarveselvitys muodostuu alustavasta aikataulusta, kustannuksista ja rakennusohjelmasta, jotka vaikuttavat rakennuttajan rakennuttamispäätökseen. Rakennuttamispäätös merkitsee resurssien kohdistamista hankkeeseen, joka mahdollistaa hankkeen etenemisen. (Liuksiala, 2004, s. 15, RT 10-11107, 2013, s. 4-15)

### 4.4 Hankesuunnittelu

Hankesuunnittelu täsmentää tarveselvityksessä laadittuja tavoitteita, jotka ovat tyypillisesti sidoksissa hankkeen laajuuteen, aikatauluun ja kustannuksiin. Hankesuunnittelun lopputuloksena ovat projektiohjelma, hankeohjelma ja hanketietokortti. Projektiohjelman ja hankeohjelman sisältö on esitetty taulukossa 5. (RT 10-11107, 2003, s. 5)

Taulukko 5. Hankesuunnittelun sisältö.

Hankesuunnittelu	
Hankeohjelma	Projekti ohjelma
Käyttäjälähtöisyys	Toteutusmuoto
Muuntojousto	Organisointi
Tuottotavoitteet	Aikataulu
Ylläpidon tavoitteet	Projektinohjaus

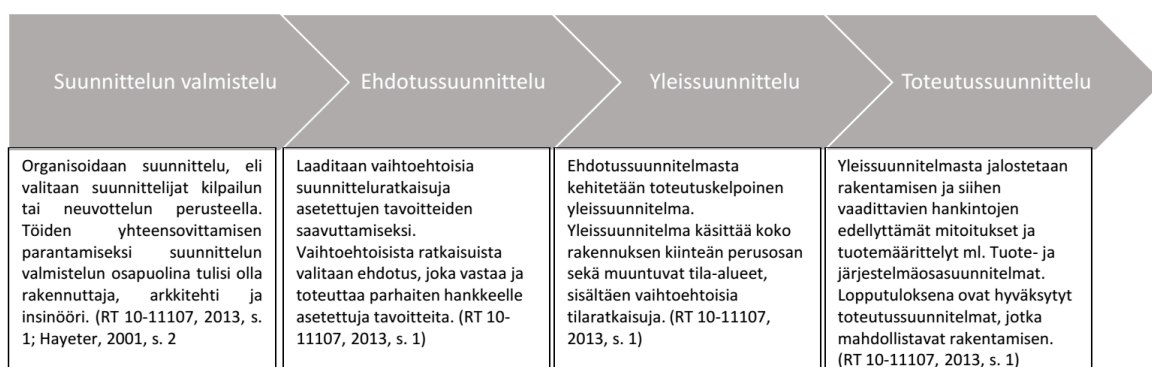
Projekti ohjelmassa esitetään hankkeen läpiviennille asetetut tavoitteet, jotka täydentyvät hankkeen edetessä muiden sidosryhmien laatimilla projektisuunnitelmilla ja ovat sidoksissa hankkeen urakkamuotoon. Urakkamuoto on hankkeen toteutusmuoto, joka määrittelee hankkeen suunnittelun ja läpiviennin perusteet. Keskeisen jaottelun urakkamuodoille muodostavat sidosryhmien vastuunjako hankkeen suunnittelussa ja läpiviennissä Urakkamuodon valinta on sidoksissa hankkeen tilaajaan omiin resursseihin ja hankkeen lähtökohtiin. Alla on esitetty yleisimpiä urakkamuotoja (Davis ym., 2008, s. 6-9).

- Kokonaisurakka
- Kokonaisvastuu-urakka
- Projektinjohtourakka
- Allianssiurakka.

Hankeohjelmassa esitetään suunnittelulle asetetut tavoitteet, jotka päivittyvät hankkeen edetessä muiden sidosryhmien laatimilla ja täydentämällä suunnitelmilla sekä muilla asiakirjoilla. Hanketietokortissa esitetään rakennushankkeen ja suunnittelutehtävän lähtötiedot, eli määritetään suunnittelutehtävän laajuus, jonka perusteella voidaan arvioida suunnittelun vaatimaa työmäärää. (Liuksiala, 2004, s. 15)

#### 4.5 Suunnittelu

Suunnittelun toteutus ja sen vaiheet ovat riippuvaisia hankkeen urakkamuodosta. Tyypillisesti rakennuttaja tai pääurakoitsija vastaa lähtötietojen hankinnasta ja suunnitteluryhmän kokoamisesta hankkeen vaatimusten mukaisesti. Suunnitelmat tarkentuvat siirryttäessä ehdotussuunnittelusta toteutussuunnittelun tiedon määrän kasvaessa, tehden suunnitelmista keskeisen osan urakkasopimuksia. (Luksiala, 2004, s. 16) Kuvassa 9 on esitetty suunnitteluprosessi, joka johtaa toteutettaviin rakennusautomaatiosuunnitelmiin.



Kuva 9. Suunnitteluprosessi.



### 4.5.1 Rakennusautomaatiosuunnittelu

Taloteknisten järjestelmien ohjaukseen, säätöön ja valvontaan tarkoitettujen rakennusautomaatiojärjestelmien suunnittelu muodostaa oman kokonaisuutensa, josta vastuussa voi olla LVI- tai sähkösuunnittelija tai osa-alueeseen erikoistunut rakennusautomaatiosuunnittelija. Rakennusautomaatiosuunnittelun tavoite on tuottaa suunnitelmat, jotka mahdollistavat taloteknisten järjestelmien tarpeen mukaisen hallinnan rakennusautomaation avulla. (LVI 40-10572, 2016, s. 1)

Suunnitteludokumentaatio on laadittava niin, että ne vastaavat taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo (TATE12) mukaisia luonteivia kokonaisuuksia, jotka tukevat eri hankintamuotoja. Rakennusautomaatiosuunnitelmat sisältävät tyypillisesti seuraavat asiakirjat (LVI 40-10572, 2016, s. 2)

- Työselostus
- Järjestelmäkuvaus
- Yhteensovituskaavio
- RAU-järjestelmäkaavio
- Säätökaaviot ja toimintaselostukset
- Laiteluettelot
- Laitesijoituspiirustukset.

Yllämainitut rakennusautomaatiosuunnittelun asiakirjat ovat osa rakennusautomaatiourakan hankintamateriaalia. Rakennusautomaatiosuunnittelun asiakirjojen lisäksi, hankintamateriaali sisältää kaupallisia asiakirjoja. Suunnittelijan tulee varmistua suunnitelmaasiakirjojen ja kaupallisten asiakirjojen, kuten urakkaohjelman ja urakkarajaliitteen yhteensopivuudesta. (LVI 40-10572, 2016, s. 2)

#### 4.5.1.1 Työselostus

Työselostuksessa esitetään rakennusautomaatiojärjestelmän rakentamisen tekniset ominaisuudet. Työselostuksessa esitetään asennettavien kentälaitteiden ja järjestelmien tekniset vähimmäisvaatimukset, jotka tulee täyttyä toimitettavien laitteiden osalta. Työselostuksessa voidaan määrittää vaatimuksia graafisen käyttöliittymän laatimiseen tai raportointiohjelman toimintaan. Työselostuksessa esitetään ohjelmallisia toimenpiteitä säätöjen toiminnan todentamiseksi. (LVI 40-10572, 2016, s. 2)

#### 4.5.1.2 Järjestelmäkuvaus

Järjestelmäkuvauksen sisältö on sidoksissa hankkeen toteutusmuotoon ja suunnitteluvaiheeseen. Suunnittelun ollessa alkuvaiheessa, järjestelmäkuvaus voi muodostua LVISJ-järjestelmien toimintakuvauksesta rakennusautomaation näkökulmasta. Suunnittelun edetessä järjestelmäkuvaus päivittyy, jolloin voidaan esittää hankkeen laajuus rakennusautomaatiourakan näkökulmasta tarkasteltuna. Järjestelmäkuvauksen tarkoituksena on antaa rakennusautomaatiourakoitsijalle kokonaiskuvan urakan sisällöstä, jota tukevat yksityiskohtaiset suunnitelmat järjestelmistä. (LVI 40-10572, 2016, s. 2)

#### 4.5.1.3 Yhteensovituskaavio

Yhteensovituskaavio on rakennusautomaatiosuunnittelijan laatima kaavio, josta ilmenee eri taloteknisten järjestelmien väliset liittynät ja yhteistoiminta. Kaaviossa on esitetty järjestelmien välillä siirrettävä tieto ja tiedonsiirron väyläratkaisu. (LVI 40-10572, 2016, s. 3)

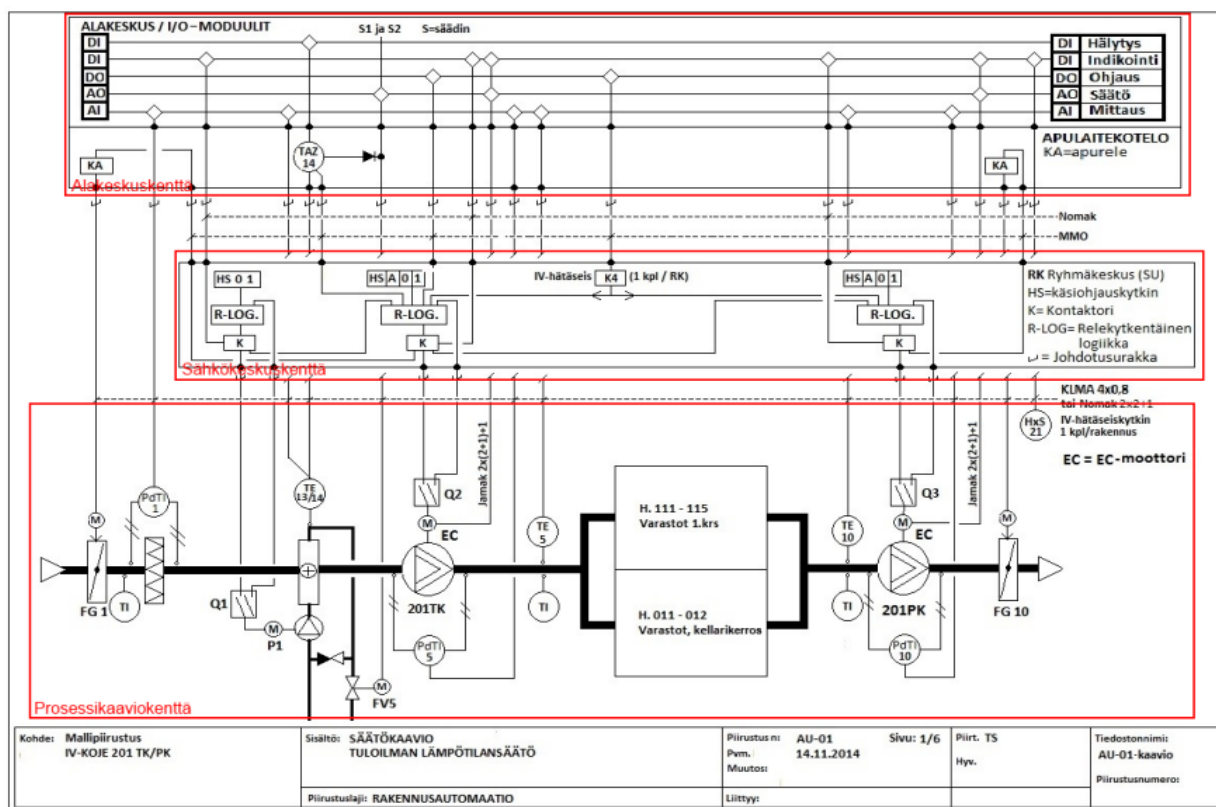
#### 4.5.1.4 RAU-järjestelmäkaavio

RAU-järjestelmäkaaviossa on esitetty rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne. Rakenne riippuu suunniteltujen järjestelmien määrästä ja on esitetty vähintään alla esitetyssä laajuudessa (LVI 40-10572, 2016, s. 3)

- Alakeskusten lukumäärä, sijainti rakennuksessa ja alakeskuksen tunnus
- Huonesäädinten väylän ja tehonsyötön periaatekaavio
- Kaapelointi eriteltyinä laitekohtaisesti
- Paikallisvalvomo, sijainti ja laitevaatimukset
- Kohteessa olevien järjestelmien liityntätapa valvomoon
- Hälytysten jatkosiirtotapa
- Mahdollinen sähkönsyötön varmennus.

#### 4.5.1.5 Sääntökaaviot ja toimintaselostukset

Sääntökaaviossa on esitetty rakennusautomaatiojärjestelmään talotekniset järjestelmät prosesseittain tai järjestelmittäin. Esimerkki sääntökaavio on esitetty kuvassa 10. (LVI 40-10572, 2016, s. 4)



Kuva 10. Esimerkki ilmanvaihtokoneen sääntökaaviosta. (LVI 40-10572, 2016, s. 4)

Sääntökaavio muodostuu seuraavista tekijöistä ja kuvauksista (LVI 40-10572, 2016, s. 3)

- **Prosessikaaviokenttä.** Prosessikaaviokentässä esitetään kuvaus prosessista ja siihen liitetystä kenttälaitteista
- **Alakeskuskenttä.** Alakeskuskentässä on esitetty prosessista rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjen kenttälaitteiden toiminta. Vaaditut toiminnot esitetään

DI-, DO-, AI- ja AO pisteiden avulla, joita ohjataan graafisen käyttöliittymän avulla

- **Sähkökeskusenttä.** Sähkökeskusentässä on esitetty prosessien sähköisesti toteutettavat pakko-ohjaus ja lukitustoiminnot. Toiminnot ovat tyypillisesti esitetty binäärilogiikan piirrosmerkein
- **Toimintaselostus.** Toimintaselostuksessa on esitetty sanallisesti prosessien ohjelmalliset toiminnot.
- **Asetukset ja mitoitus tiedot.** Ohjeasetusarvot, hälytysluokat, hälytysviiveet ja hälytysten raja-arvot sekä säätöventtiilien mitoitus tiedot ja kenttälaitteiden tekniset arvot, joiden kytkentä ja asennus on esitetty mahdollisesti urakoitsijakohtaisesti.

#### 4.5.1.6 Laiteluettelot ja laitesijoituspiirustukset

Laiteluettelo esitetään osana säätökaavioita tai säätökaavioiden liitteenä. Laiteluettelossa on esitetty suunnitelmien mukaisesti hankittavat laitteet prosessikohtaisesti. Laiteluettelo sisältää laitteiden tilaukseen tarvittavat mitoitus tiedot ja tekniset määrittelyt, mikäli ne poikkeavat työselostuksen vähimmäisvaatimuksista. Laitesijoituspiirustuksissa on esitetty tyypillisesti kenttälaitteiden sijainnit rakennuksessa kenttälaitteiden osalta pois lukien teknisten tilojen kenttälaitteet. (LVI 40-10572, 2016, s. 5)

### 4.6 Rakentamisen valmistelu

Rakentamisen valmistelua, kuten koko rakennushanketta ohjaavat vahvasti lait, määräykset ja sopimukset. Rakennuksen valmistamiseen sisältää tyypillisesti seuraavat vaiheet (RT 10-11107, 2013, s. 16)

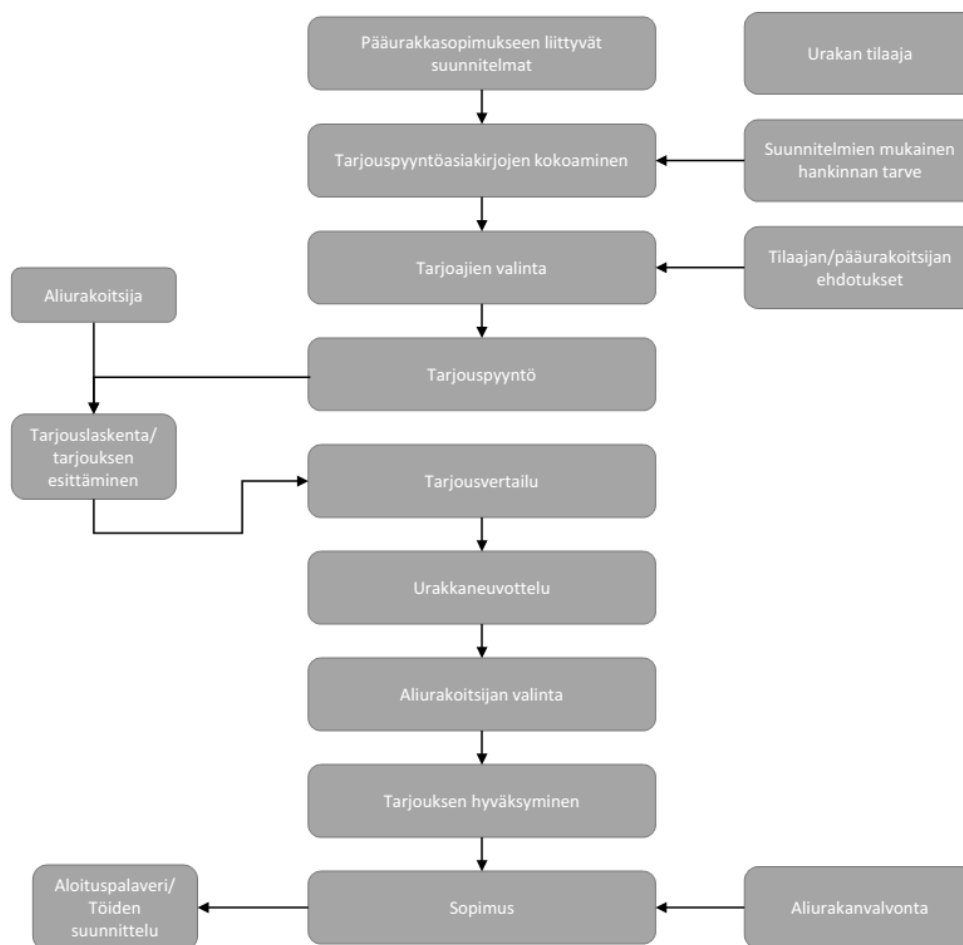
- Rakentamisen organisointi
- Rakentamistehtävien kilpailutus
- Sopimusneuvottelut
- Urakka- ja hankintasopimukset.

Organisointi sisältää hankkeen toteuttamiseksi vaadittavien henkilöiden ja sidosryhmien valitsemisen projektiin. Organisaatiolla tarkoitetaan yleisesti yksittäisistä henkilöistä muodostettua ryhmää, jotka koordinoivat aktiviteetteja saavuttaakseen projektille asetettuja tavoitteita. Organisaation valintaan liittyviä tekijöitä koon ja laajuuden lisäksi ovat henkilöiden kokemus, projektin tekniset ratkaisut ja kustannusten hallinta. (Elkassas, 2013, s.411-s.422)

Rakennusautomaatiurakan organisointi muodostuu tyypillisesti projektille sopivasta sisäisen organisaation muodostamisesta ja aliurakoitsijan valinnasta. Rakennusautomaatiourakasta vastaava projektinohitaja määräytyy tyypillisesti henkilön kokemuksen ja hankkeen vaativuuden mukaisesti. Aliurakoitsijan valintaan vaikuttavat urakan laajuus, aiemmat kokemukset ja aliurakoitsijan tarjoama urakkahinta.

#### 4.6.1 Urakoiden hankinta

Rakennushanke koostuu tyypillisesti useista urakoista, jotka yhdessä muodostavat hankkeen suunnitelmia vastaavan kokonaisuuden. Hankintoja voidaan kuvata prosessina, jossa suunnitelmien vaatimat hankinnat konkretisoidaan rakentamista varten. Hankinnat voivat olla työ-, materiaali- ja palvelupanoksen ostamista. (Patil, 2016, s.492) Rakennusautomaatiourakka kuuluu tyypillisesti LVI-urakoitsijan tai pääurakoitsijan hankintaan. Hankintaprosessin eteneminen on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Hankintaprosessin eteneminen. (Mukaillen: Junnonen ym., 2001, s. 9)

Suunnitteluvaiheessa syntyneiden tarjouspyyntöasiakirjojen pohjalta LVI- tai pääurakoitsija esittää tarjouspyynnön, josta ilmenee tarjottavan urakan laajuus. Rakennusautomaatiourakan tarjouspyyntöön liittyvä materiaali on tyypillisesti sidoksissa rakennusautomaatiosuunnittelun aineistoon, sekä hankkeen kaupallisiin asiakirjoihin. Tarjouspyyntöasiakirjojen perusteella, rakennusautomaatiourakoitsija päättää tarjoaako urakkaa. Tarjouspyyntöasiakirjoihin perustuvan laskennan perusteella määräytyy hankkeen kokonais-hinta, jonka rakennusautomaatiourakoitsija esittää tilaajalle urakkatarjouksena.

Useilla urakkatarjouksilla tilaaja voi testata nykyisiä markkinoita ja vertailla eroja urakkatarjouksien välillä. Tarjousten kannalta merkittävin tekijä on tyypillisesti urakkahinta, on kuitenkin huomattava, että edullisin urakkahinta ei välttämättä ole edullisin hankkeen kokonaisuudelle. Urakkahinnan lisäksi tarjouksia voidaan arvioida seuraavien tekijöiden avulla (Puri, 2014, s.46)

- **Urakoitsijan talous.** Urakoinnista vastaavan yrityksen taloudellisen tilan va-  
kaus ja luottoluokitus, eli arvio selviytyä taloudellista velvoitteista
- **Tekninen osaaminen.** Yrityksen kokemus hankkeessa käytetystä tekniikasta
- **Projektinhallinta.** Kokemus aiempien projektinhallinnasta ja laadusta sekä pro-  
jektista vastanneiden tahojen kyvykkyys
- **Maine.** Kokemukset aiemmasta yhteistyöstä ja sopimussuhteista.

Urakkaneuvotteluissa voidaan käsitellä urakan sisältöä tarkemmin ja tarkentaa sopimusehtoja, kuten toimitusrajoja. Tilaajan hyväksyttyä rakennusautomaatiourakoitsijan esittämän urakkatarjouksen, allekirjoitetaan urakkasopimus, josta alkaa rakennusautomaatioprojekti. Urakkasopimuksella tarkoitetaan tilaajan ja urakoitsijan välistä allekirjoitettua asiakirjaa, jossa on määritetty työsuoritus ja siitä korvattava hinta. Urakkasopimuksen yhteydessä määritetään maksuerätaulukko, jonka perusteella urakan työsuoritukset laskutetaan. (RT-10660, 2017)

## 4.7 Rakentaminen

Rakentamisvaiheessa rakennusautomaatiosuunnitelmat konkretisoidaan fyysiseksi tuotteeksi. Fyysisen tuotteen taloudellinen ja tekninen onnistuminen ovat sidoksissa urakoitsijoiden oman projektinhallinnan lisäksi pääurakoitsijan projektinhallintaan. Pääurakoitsijan, kuten rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallinta muodostuu rakennustöiden työvoiman ja materiaalivirran, eli resurssien hallitsemisesta. Resurssien hallitsemisen tueksi tarvitaan tuotannonsuunnittelua, -valvontaa ja -ohjausta, joka edellyttää projektinhallintaa. (Rahman ym., 2013, s. 68)

### 4.7.1 Projektinhallinta

Projektinhallinta on avaintekijä, jotta hankkeelle asetetut laatu -, aikataulu-, ja kustannus tavoitteet saavutetaan. Rakennushankkeen projektinhallinnan voidaan yleisesti ajatella muodostuvan seuraavista tekijöistä (Walker, 2015, s.11)

- Asiakkaan tavoitteiden täyttäminen
- Suunnittelun, yhteistyön ja toteutuksen hallinta
- Resurssien integrointi, valvonta ja hallinta
- Jatkuva kehittäminen ja tehdyn työn arviointi käyttäjälähtöisesti.

Tavoitteiden saavuttaminen vaatii useita aktiviteetteja projektinhallinnalta. Useat aktiviteetit toistuvat projektin eri vaiheissa, alla on esitetty tyypillisiä aktiviteetteja (mukaillen Walker, 2015, s.201)

- **Sidosryhmien muodostaminen.** Sidosryhmien yhteydenpidon aloittaminen ja tarvittavien sidosryhmien valinta
- **Informaatio- ja kommunikaatioverkon perustaminen.** Informaation tuottamiseen ja kommunikoinnin hallintaan käytettävät menetelmät
- **Tuotannonohjauksen hallinta.** Resurssien ohjaus ja kohdistaminen niin, että työn toteutuksen jatkuvuus on mahdollista
- **Päätöksenteko.** Päätöksentekoon ja toteutukseen vaikuttavien suunnitelmien muutosten tai vaihtoehtojen esittäminen pääurakoitsijalle
- **Suoritusten analysointi.** Suorituksen ja tavoitteiden saavuttamisen analysointi.

Projektinhallinnan näkökulmasta on tärkeä tunnistaa aktiviteetit, jotka aiheuttavat ajallista ja taloudellista hukkaa, sekä tunnistaa tilaajalle arvoa tuottamattomat työvaiheet, eli hukka. Hukka voidaan määritellä aktiviteettien, resurssien, kustannusten ja ajankäytön tarpeettomana kasvuna. Lean-filosofian implementointi hankkeen rakentamisvaiheeseen parantaa työn tuottavuutta ja lisää tuotannon sekä palvelujen arvon muodostumisen ymmärtämistä. Yleisesti lean-filosofian voidaan jakaa seuraaviin pääperiaatteisiin (Ansah ym., 2016, s. 1609)

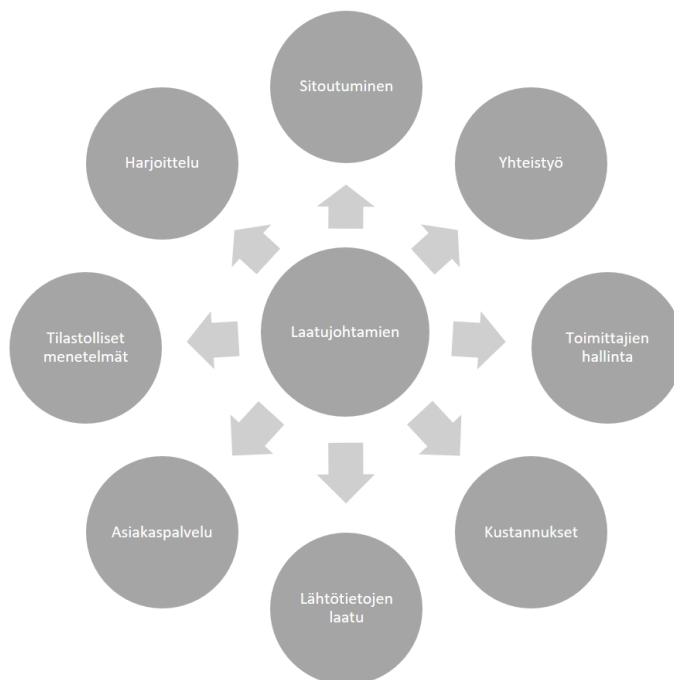
- **Arvon määrittäminen.** Tuotannon ja palveluiden arvon arviointi tilan loppukäyttäjän näkökulmasta
- **Arvoketjun tunnistaminen.** Prosessin arvoa lisäävien ja lisäämättömien vaiheiden tunnistaminen
- **Virta.** Työn jatkuvuuden varmistaminen
- **Imuohjaus.** Tuotannon ohjauksen perustaminen arvoketjun määrittämisen
- **Jatkuva kehittäminen.** Prosessien ja toimintatapojen jatkuva kehittäminen.

Pääperiaatteiden mukaisesti, työvaiheiden aktiviteetteja voidaan tarkastella niistä mahdollisesti aiheutuvan hukan avulla. Työvaiheissa syntyvä hukka voidaan jakaa operaatioista ja prosesseista syntyvään hukkaan. Hukan tyypit ovat esitetty taulukossa 6. (Ansah, 2016, s. 1610)

*Taulukko 6. Hukan tyypit.*

Operatiivinen	Liike	Tarpeeton liike, joka aiheutuu työn suorittamiseen vaadittavista puutteellisista resursseista
	Odotus	Odotus, joka muodostuu ajasta, jolloin tuotetta ei prosessoida. Odotus voi johtua työvirran epäjatkuvuudesta johtuen resurssien puutteesta tai puutteellisesta projektinhallinnasta
Prosessointi	Ylituotanto	Ylituotannolla tarkoitetaan vaaditun määrän ylittävää tuotantoa tai tuotantoa, jossa tuote/työvaihe valmistetaan ennaikaisesti. Ylituotanto voi johtaa resurssien käytön väärään kohdistamiseen
	Varasto	Tarpeettomat tai liialliset varastot sitovat pääomaa eivätkä tuota arvoa lopputuotteelle. Hukkaa syntyy varastoitavien tuotteiden häviämisestä tai siirtämisestä aiheutuvista kuluista
	Kuljetus	Kuljetuksella tarkoitetaan resurssien siirtämistä vaadittuihin lokaatioihin. Kuljetuksesta syntyvä hukka tapahtuu, kun resurssien liike ei ole jatkuvaa
	Yliprosessointi	Yliprosessoinnilla tarkoitetaan hukkaa, joka syntyy, kun työvaiheeseen kohdistettu aktiviteetti ei lisää työvaiheelle arvoa tilan loppukäyttäjien näkökulmasta
	Viallinen tuote	Työvaiheita/ tuotteita voidaan joutua uusimaan, jos laadullisia vaatimuksia ei saavuteta, jolloin syntyy hukkaa

Hukkaa voidaan vähentää implementoimalla laatujohtamisen periaatteita. Laatujohtamisessa menestys perustuu projektinhallinnan elementteihin. Kuvassa 12 on esitetty laatujohtamisen elementit (Arditi ym., 1997, s. 237)



*Kuva 12. Laatujohtamisen elementit.*

Laatujohtamisen elementit ovat projektinhallinnan osa-alueita, joiden avulla käyttäjälähtöistä laatua tarkastellaan strategisena päämääränä, jota kohti pyritään suorituskyvyn jatkuvalla parantamisella. Laatu on jokaisen projektiin osallistuvan ja sitoutuvan henkilön vastuulla ja sitä voidaan parantaa harjoittelu- ja koulutusohjelmilla. Harjoittelu ja koulutusohjelmat perustuvat organisaation sisäisten resurssien hyödyntämiseen ja mahdollisten ulkopuolisten palveluiden hyödyntämiseen.

Yhteistyö korostaa sisäisen - ja ulkoisen organisaation yhteistyökykyä ja kommunikaatiota käyttäjälähtöisen laadun parantamiseksi. Sisäisen organisaation tulee käydä vuoropuhelua ulkoisen organisaation kanssa, jotta yhteistyömenetelmiä voidaan parantaa. Yhteistyö edesauttaa tiedon ja kokemuksen jakamista, joka edesauttaa projektinhallintaa parantaen työn tuottavuutta. (Khoshtale, 2016, s. 1739; Arditi ym., 1997, s. 238)

Tilastolliset menetelmät tarjoavat tukea laadun ja mahdollisten ongelmien analysointiin. Tilastoissa voidaan hyödyntää aiemmista projekteista kertynyttä aineistoa, jonka avulla voidaan ennustaa ja arvioida työvaiheisiin tarvittavia resursseja sekä niiden kohdentamista, joiden avulla projektinhallintaa voidaan kehittää. (Arditi ym., 1997, s. 238-239)

Kustannusten hallinta on taloudellisesti onnistuneen projektin kulmakivi. Kustannusten hallinta on suoraan sidoksissa projektinhallintaan, sillä projektinhallinta ohjaa ja kohdistaa kustannuksia aiheuttavia resursseja. Kustannusten laadukas hallinta muodostuu seuraavista tekijöistä (Arditi ym., 1997, s. 238)

- **Kustannusten arviointi.** Arvioidun urakkahinnan vastaavuus suunnitelmien laatuvaatimusten kanssa

- **Ylimääräisten kustannusten ehkäisy.** Arvoa tuottamattomista aktiviteeteistä aiheutuva kustannusten kasvun ehkäisy
- **Kustannusten poikkeaminen.** Kustannukset, jotka aiheutuvat siitä, että lopputuote ei täytä vaatimuksia.

Toimittajien hallinta sisältää tuotteiden toimitukseen liittyvien resurssien hallinnan. Kyky toimittaa vaatimusten mukaisia lopputuotteita kustannustehokkaasti vaatii yhteistyösuhteita tuotteiden tilaajilta ja toimittajilta. Toimitettavien tuotteiden laatu on suoraan sidoksissa rakennushankkeen lopputuloksen laatuun. (Arditi ym., 1997, s. 239)

Asiakaspalvelu on osa jokaista projektinhallinnan osa-aluetta ja tärkeä kilpailuetu markkinoilla. Asiakkaat, kuten rakennusautomaatiourakan tilaaja, pääurakoitsijan tilaaja tai tilan loppukäyttäjä vertailevat kokemuksia yhdestä tuotteesta rakennusprojektiin aiempiin kokemuksiin ja hyvinä pidettyihin standardeihin. Laatujohtamisen mukaisesti, asiakas-tyytyväisyyttä tulee arvioida, jotta toimintatapojen jatkuva parantaminen on mahdollista. (Kärnä, 2004, s. 68)

#### 4.7.1.1 Projektinhallinnan työkalut

Omien töiden projektinhallinnan lähtökohta on töiden osittaminen (Work Breakdown Structure, WBS). WBS-menetelmässä työ jaetaan hierarkkisesti tasoihin. Alimmat tasot muodostuvat pienistä helposti hallittavista osista, jotka sisältävät osan valmiiksi saattamiseen vaaditun informaation. Informaation avulla voidaan määrittää projektinhallinnalle oleellisia tekijöitä, kuten laajuus, aikataulu ja kustannukset. Ylemmät tasot muodostuvat pienistä kokonaisuuksista ja tarjoavat loogisen pisteen työn tuottavuuden arvioinnille (Project Management Institute, 2004, s. 6)

Lean-filosofiaa implementoivia rakentamisvaiheen projektinhallinnan työkaluja ovat Last Planner-menetelmä (LP) ja Location Breakdown Management System menetelmä (LBMS). LP – ja LBMS- menetelmät pyrkivät vähentämään työvaiheissa syntyvää hukkaa ja lisäämään työn tuottavuutta. Menetelmät yhdessä tai erikseen käytettynä osallistavat työvaiheisiin vaadittavia sidosryhmiä, luoden edellytykset työvaiheiden vaativien työsuoritusten jatkuvuudelle. (Seppänen ym., 2010, s. 44). Menetelmiä voidaan hyödyntää osana työmaakokouksia.

LP-menetelmää perustuu lyhyen aikavälin työvaiheiden operatiiviseen suunnitteluun. Viikkosuunnittelun tarkoituksena on varmistaa edellytys työvaiheiden jatkuvuuden varmistamiselle. Työvaiheisiin vaadittavien sidosryhmien vastuuhenkilöiden tulee todeta edellytys työvaiheen toteutettavuudelle, jotta työvaiheet hyväksytään viikkosuunnitteluun. Työmaakokouksiin osallistuvat sidosryhmien vastuuhenkilöt, mikä luo toimivan ympäristön viikkosuunnittelun laadintaan ja läpikäyntiin. (Koskela ym., 2003, s. 14)

LBMS-menetelmä on rakentamisen suunnitteluun ja tuotannonohjaukseen käytettävä menetelmä, jossa rakennus jaetaan eri hierarkkisiin lohkoihin. Lohkojen avulla voidaan hallita lohkon työvaiheiden valmiiksi saattamiseen vaadittavien resurssien virtaa. LBMS-menetelmällä voidaan ennustaa tulevia haasteita töiden yhteensovittamisessa ja aikataulutuksessa. (Seppänen ym., 2010, s. 45)

#### 4.7.2 Rakennusautomaation rakentamisvaiheen projektinhallinta

Rakentamisvaiheen projektinhallinta sisältää projektin resurssien työvaiheen mukaista hallintaa, minimoiden hukkaa aiheuttavat tekijät. Projektinhallinnan lähtökohtana on tunnistaa työvaiheille arvoa tuottavat ja – tuottamattomat aktiviteetit sekä siihen vaikuttavat



sidosryhmät. Arvoketjun määrittämistä voidaan käyttää jatkuvan parantamisen työkaluna oman projektinhallinnan kehittämiseksi. Onnistuneen projektinhallinnan kannalta, on oleellista tarkastella projektia kokonaisuutena, jolloin syyseuraus suhteet hahmottuvat projektin alkuvaiheesta loppuvaiheeseen.

Pilkkomalla työvaiheita ja niihin vaadittavia aktiviteetteja sekä sidosryhmiä osiin, työvaiheille voidaan muodostaa riippuvuuksia, jotka vaikuttavat tuotetun arvon muodostumiseen. Työvaiheiden riippuvuuksia voidaan kuvata töiden suoritusjärjestyksen ja limittymisen perusteella seuraavasti (Talonrakennusteollisuus, 2016, s. 26)

- **Loogiset riippuvuudet.** Ehdottomat riippuvuudet teknisen toteutuksen kannalta
- **Olosuhderiippuvuudet.** Riippuvuudet johtuen työmaan järjestelyistä ja aikataulusta
- **Tekniset riippuvuudet.** Riippuvuudet johtuen toteutusteknisistä vaatimuksista
- **Resurssiriippuvuudet.** Riippuvuudet tarvittavien resurssien välillä.

Riippuvuuksien mukaisesti, rakennusautomaatiourakka sijoittuu rakennushankkeen loppuvaiheeseen. Rakennusautomaatiourakan aloittamisen edellytyksenä on hallitut sisäolosuhteet ja tilojen sekä järjestelmien riittävä valmius asennusten aloittamiselle (Härkönen ym., 2012, s. 36). Rakennusautomaation projektinhallinta rakentamisolosuhteissa linkittyy pääurakoitsijaan työvaiheiden loppuunsaattamiseksi vaadittujen aktiviteettien, resurssien ja sidosryhmien ohjauksen ja hallinnan kautta.

#### 4.7.2.1 Turvallisuus

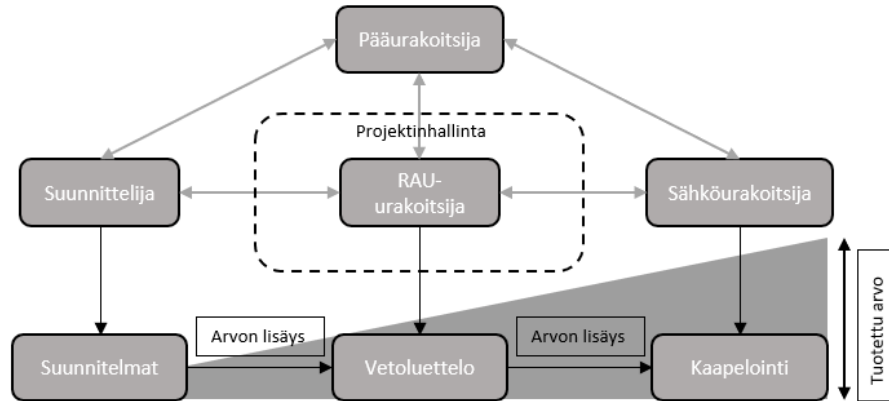
Projektinhallinnan lähtökohtana on, että työvaiheet voidaan suorittaa turvallisesti. Turvallisuuden lähtökohtana on oikeat työvälineet ja töiden yhteensovitus. Pääurakoitsija vastaa rakennusautomaatiourakoitsijan ja urakassa käytetyn aliurakoitsijan perehdyttämisestä työmaalle. Perehdytyksen tarkoituksena on, että työmaalla olevat henkilöt ovat perillä yleisistä turvallisuutta ja järjestelyjä koskevista asioista, kuten

- Työmaaorganisaatiosta
- Työmaan muodostamasta kokonaisuudesta
- Työmaan turvallisuussäännöstä
- Turvallisuussuunnitelmasta
- Suojaimien käytöstä
- Yhteisten työvälineiden käytöstä, kuten nostimet.

Turvallisuuden parantamisen lisäksi, perehdytys edesauttaa ymmärrystä työmaan laajuudesta ja lohkon jaottelusta, jolla voidaan nähdä olevan positiivinen vaikutus työn aloittamiseen liittyvään hukkaan nähden. Työmaaperehdytys voidaan nähdä laatujohtamisen harjoitteluelementtinä, joka tuottaa arvoa seuraaville työvaiheille.

#### 4.7.2.2 Kaapelointi

Kaapeloinnin projektihallinta perustuu kytkentäsuunnitelmien toteutuksen hallintaan. Kaapeloinnin arvon muodostumine ja sidosryhmät ovat esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Kaapeloinnin sidosryhmät ja arvon muodostuminen.

Kaapeloinnin arvoketju muodostuu sidosryhmien työpanoksen yhdistämisestä kaapeloinnin toteuttamiseksi. Tuotettu arvo perustuu prosessin resurssien virtauksen ohjaukseen, jossa sidosryhmien aktiviteettejä kohdistetaan hallitusti. Kytkentäsuunnitelmat mahdollistavat kaapeloinnin aloittamisen, tuottaen arvoa kaapeloinnille ja seuraaville työvaiheille. Tuotettuun arvoon vaikuttaa sidosryhmien työpanoksen laatu, joka edesauttaa virtauksen jatkuvuutta. Rakennusautomaatiourakoitsijan työvaiheen projektinhallintaa voidaan tarkastella taulukon 7 mukaisien hukatekijöiden avulla.

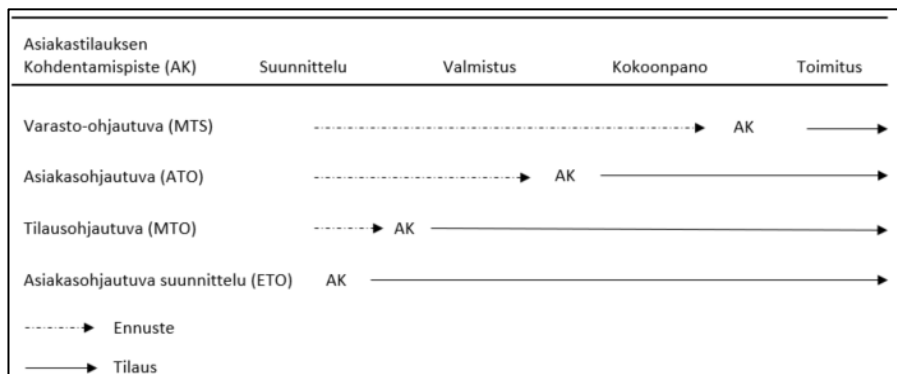
Taulukko 7. Kaapeloinnin mahdollisen hukan synty.

Hukkatyyppi	Syy
Odotus	Puutteellisista kytkentäsuunnitelmista tai – kommunikoinnista johtuva odotusaika, jolloin kaapelointiin vaadittavia osa-alueita ei voida prosessoida
Ylituotanto	Ylituotannolla tarkoitetaan kytkentäsuunnitelmien laatimisen liian aikaista aloittamista, jolloin suunnitelmamuutokset ovat mahdollisia.
Yliprosessointi	Kytkentäsuunnitelmien yliprosessoinnilla tarkoitetaan työtä, joka ei lisää arvoa kaapeloinnin toteuttamiselle.

Kaapelointi voidaan toteuttaa myös lohko- tai järjestelmäkohtaisesti, jolloin hukkaa voidaan hallita LBMS-menetelmän mukaisesti. Tällöin projektinhallinnan kannalta merkittäväksi tekijäksi muodostuu rakennusautomaatiosuunnitelmien ja suunnitelmamuutosten sekä kytkentäsuunnitelmien hallinta. Työvaiheen oikea aikaista kohdistamista voidaan hallita työmaakokouksien avulla, jossa voidaan valvoa kaapeloinnin toteuttamiseen vaadittavien sidosryhmien työn etenemistä ja hallita kenttälaiteasennuksien aloittamista.

### 4.7.3 Kenttälaitteasennukset

Kenttälaitteiden kytkentä ja asennukset vaativat usean sidosryhmän työpanosta ja keskinäistä vuorovaikutusta, luoden kenttälaitteiden asennuksen ja kytkennän hallinnan onnistumisesta yhden rakennusautomaatiourakan avaintulosalueista. Kuvassa 14 on esitetty kenttälaitetilauksen kohdentamispiste ja määritelmä taulukossa 8



Kuva 14. Kenttälaitetilauksen kohdentamispiste (Mukaillen: Olhager, 2004, s.42).

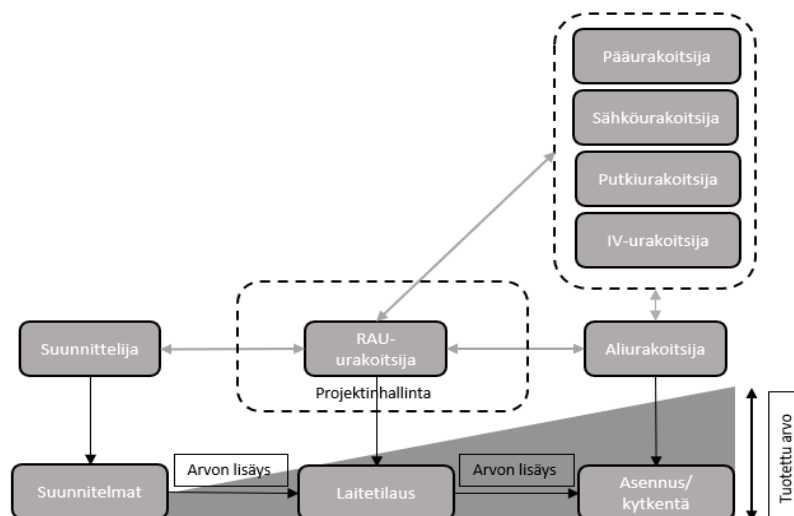
Taulukko 8. Kenttälaitetilauksen kohdentamispisteen määrittely.

MTS	tuotteet ovat vakiotuotteita, joille ominaista on suuret volyymit, lyhyt toimitusaika ja toimitusten ennustettavuus. Ennustettavuuden perusteella tuotteita voidaan valmistaa ennakoon. Varasto-ohjautuva tuotanto kuitenkin sitoo pääomaa aiheuttaen kustannuksia. (Olhager, 2012, s.39)
ATO	asiakkaan tilaus käynnistää kokoonpanon. Tuotteet ovat tyypillisesti modulaarisia, jolloin voidaan tuottaa skaalautuvia tuotekombinaatioita. Tilauskohtainen kokoonpano mahdollistaa tilaajalle lyhyen toimitusajan ja kattavan valikoiman. (Blecker ym., 2006, s.40-42)
MTO/ETO	tuote valmistetaan komponenttien avulla alusta loppuun itse. Tilauskohtainen valmistus mahdollistaa tilaajalle kattavan valikoiman, mutta pidentää toimitusaikaa. Tarkasteltaessa tilauksen kohdentamispistettä materiaalivirtojen perusteella, asiakasohjautuva suunnittelu (engineer-to-order ETO) voidaan integroida MTO-tuotantoon. (Olhager, 2012, s.39)

Kenttälaitteen tilauspisteeseen vaikuttaa yrityksen tuotantostrategian mukainen sijainti arvoketjussa toimitettavan kenttälaitteen osalta. Tilauspisteen valinnassa voidaan hyödyntää laatujohtamisen mukaisia tilastollisia menetelmiä, jonka avulla tilauspiste voidaan ajoittaa kustannustehokkaasti. Kenttälaitteen asennuksen ja kytkennän toteuttaminen vaatii tilauksen kohdentamispisteen ja omien resurssien hallinnan lisäksi useiden sidosryhmien tuottaman työpanoksen hallintaa, sillä sidosryhmien tuottama työpanos vaikuttaa loogisten - ja teknisten riippuvuuksien mukaisesti rakennusautomaatiourakoitsijan kenttälaitteen asennus ajankohtaan.

Sidosryhmien työvaiheiden projektinhallinnan työkaluna voidaan hyödyntää pääurakoitsijan LP-menetelmää seuraamalla viikkosuunnitelmien etenemistä työmaakokouksissa. Viikkosuunnittelun avulla voidaan kohdistaa ja aikatauluttaa kenttälaitte asennukseen ja kytkentään kohdistettavia resursseja kustannustehokkaasti.

Kenttälaitetta voidaan kuvata yksikkönä, johon tehdään töitä arvon lisäämiseksi. Arvo muodostuu kenttälaitteen asentamiseen vaadittavien sidosryhmien kumulatiivisesta työpanoksesta. Kuvassa 14 on esitetty kenttälaitteen asennuksen ja kytkennän tuottaman arvon muodostuminen sekä vaadittavat sidosryhmät.



Kuva 14. Kenttälaitteiden asennusten arvon muodostuminen ja sidosryhmät.

Kenttälaitteiden asennuksen ja kytkennän projektinhallinta riippuu

- **Tilausajankohdasta.** Ennenaikainen tilaus aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia, sillä kenttälaitteet sitovat pääomaa varastossa. Pääoma realisoituu tuotoksi, kun kenttälaitteet ovat asennettu ja kytketty maksuerätaulukkojen mukaisesti
- **Töiden yhteensovituksesta.** Kenttälaitteen toimintakuntoon saatto sitoo monta urakoitsijaa, joiden töitä täytyy koordinoida ja työn etenemistä valvoa
- **Työvoimasta.** Työvoiman harjoittelu ja koulutus sekä kokemus.

Projektinhallinnan tarkoitus on saattaa kenttälaitte toimintakuntoon niin, että kenttälaitteen asennuksen ja kytkennän läpimenoaika minimoituu, joka vähentää työvaiheeseen sidottuja resursseja ja muuttaa tehdyn työn tuotoksi lyhyellä aikavälillä. Läpimenoajan lyhentäminen on verrannollinen hukkan minimointiin. Taulukossa 9 on esitetty kenttälaitteiden asennuksen ja kytkennän mahdollisia hukka tekijöitä.

Taulukko 9. Kenttälaitteiden asennuksen ja kytkennän mahdollinen hukka.

Hukkatyyppi	Syy
Odotus	Kenttälaitte ei ole ajoissa työmaalla tai tuotteen asentamisen edellyttämä työpanos sidosryhmiltä on puutteellinen
Ylituotanto	Kenttälaitteiden ennen aikainen asennus voi johtaa kenttälaitteen tarpeettoman uudelleen asennukseen tai kytkentään, johtuen resurssien puutteellisesta kohdistamisesta
Varasto	Kenttälaitteiden varastointi aiheuttaa hukkaa niin varastolla kuin työmaalla ja edesauttaa kenttälaitteiden häviämistä sekä sitoo pääomaa
Kuljetus	Kuljetuksesta syntyy hukkaa, jos kenttälaitteiden määrä ei vastaa vaadittuja, joka häiritsee työn jatkuvuutta
Yliprosessointi	Kenttälaitteen valmiiksi saattamisen tehtävät aktiviteetit, jotka eivät lisää arvoa kenttälaitteelle
Viallinen tuote	Hukkaa, joka aiheutuu tuotteesta, joka ei täytä sille asetettuja laadullisia vaatimuksia

#### 4.7.3.1 Ohjelmointi ja graafisen käyttöliittymän toteutus

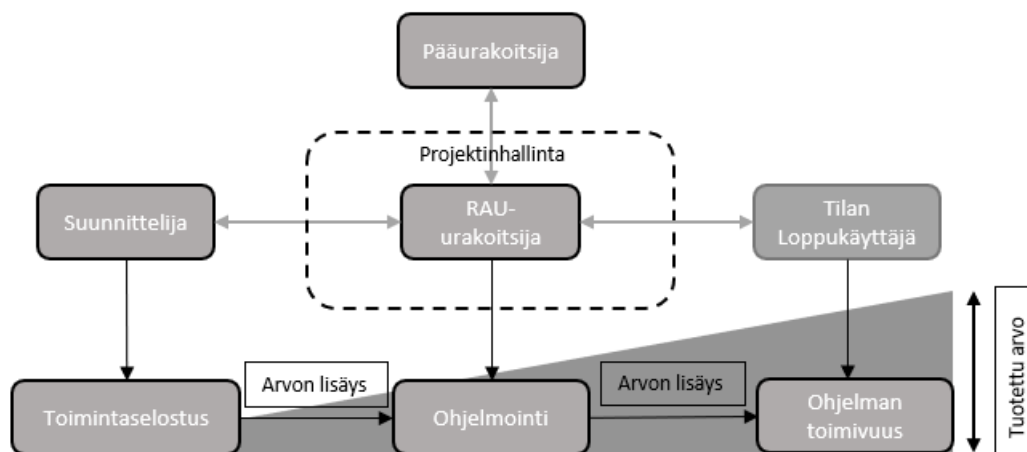
Ohjelmointia ja graafisen käyttöliittymän toteutusta voidaan tarkastella omana prosessina, jonka laatu heijastuu seuraaviin työvaiheisiin ja sidosryhmiin. Työn tuottavuuden parantamiseksi ja hukan minimoimiseksi, työvaiheessa tulee huomioida ohjelmointi ja graafisen käyttöliittymän toteutuksen laajuus, jotta seuraavat tekijät toteutuvat (Hans, 2004, s. 19)

- **Muutokset.** Laadullisista puutteista aiheutuville muutoksille vältytään
- **Kustannukset.** Ohjelmointi ja graafisen käyttöliittymän toteutukseen varattu budjetti ei ylitä
- **Aikataulu.** Ohjelmointi ja graafisen käyttöliittymän toteutus valmistuvat aikataulun mukaisesti, jotta seuraavien vaiheiden työ on jatkuva.

Ohjelmoinnin ja graafisen käyttöliittymän toteutukseen, voidaan implementoida WBS-menetelmää. WBS-menetelmän avulla ohjelmointia ja graafisen käyttöliittymän toteutusta voidaan hallita seuraavilla menetelmillä (Hans, 2004, s. 22)

- **Vastaavuusmenetelmä.** Vastaavuus menetelmä hyödyntää yrityksen aiempia projekteja ohjelmoinnin ja graafisen käyttöliittymän työvaiheiden osittelulle
- **Yrityksen ohje.** Yrityksen ohje menetelmässä työn osittelu tehdään yrityksen ohjeistuksen mukaisesti.

Ohjelmoinnin arvoketju muodostuu toiminnallisten vaatimusten konkretisoimisesta prosesseja ohjaavaksi ohjelmaksi. Tuotetun arvon vaikuttaa ohjelmoinnin systemaattinen hallinta, joka on sidoksissa lopputuotteen käyttäjäkokemukseen. (Wang ym., 2011, s. 13) Ohjelmoinnin arvoketju ja siihen vaikuttavat sidosryhmät ovat esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Ohjelmoinnin arvoketjun muodostuminen ja sidosryhmät.

Ohjelmoinnin ja graafisen käyttöliittymän rakennusautomaatiolle tuottama arvo perustuu toimintaselostuksen vaatimukset täyttävän ohjelman toteuttamiseen, jota voidaan helposti seurata ja tarvittaessa säätää graafiselta käyttöliittymältä. Työvaiheen toteutus itsessään ei vaadi suurta määrää resursseja tai tuota hukkaa. Hukan syntymisen riski kasvaa ohjelman käyttöönotto vaiheessa, jolloin mahdolliset laadulliset puutteet sitovat suuremman määrän sidosryhmiä ja resursseja, sillä ohjelmisto ohjaa usean eri sidosryhmän toimittamia taloteknisiä järjestelmiä.

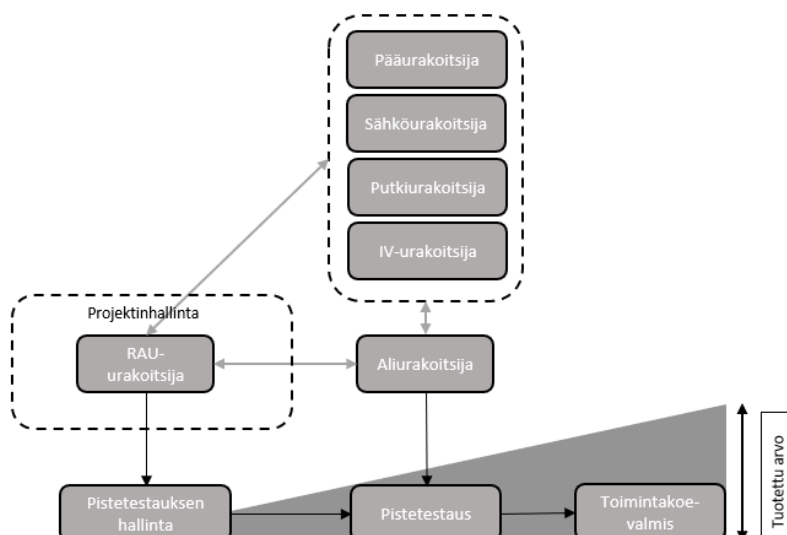
Ohjelmointi ja graafisen käyttöliittymän toteutus ovat yhdessä toteutettava kokonaisuus, jonka toteutus ja käyttöönotto voivat synnyttää hukkaa ja asettaa haasteita projektinhallinnalle. Taulukossa 10 on esitetty ohjelmoinnista ja graafisen käyttöliittymän toteutuksen yhteydessä syntyvää mahdollista hukkaa.

Taulukko 10. Ohjelmoinnin ja graafisen käyttöliittymän toteutuksen mahdollinen hukka.

Hukkatyyppi	Syy
Liike	Puutteellisista lähtötiedoista, ohjelmoinnista, grafiikasta, asennuksista tai kytkennöistä aiheutuva resurssien liike
Odotus	Virheellisestä ohjelmoinnista tai grafiikasta johtuva odotusaika seuraavan työvaiheen toteuttamiselle
Ylituotanto	Ohjelmoinnin ja graafisen käyttöliittymän ennen aikainen toteutus, jolloin suunnitelma muutokset voivat vaikuttaa merkittävästi osin tehdyn työn muokkaamiseen
Yliprosessointi	Ohjelmalliset toiminnot tai graafiset esitykset, jotka sitovat resursseja, mutta eivät tuo lisäarvoa käytölle
Viallinen tuote	Ohjelma tai graafinen käyttöliittymä eivät täytä sille asetettuja vaatimuksia. Tämä ilmenee ohjelmallisina – tai graafisina virheinä

#### 4.7.3.2 Pistetestaus

Pistetestaus antaa arvion edellisten työvaiheiden tuottamasta kumulatiivisesta arvosta ja syntyneestä hukasta. Pistetestausta voidaan ajatella jatkuvan parantamisen työkaluna, sillä jatkuva parantaminen perustuu asioiden/tekijöiden löytämiseen, jotka eivät ole vielä tiedossa. (Kovach ym., 2011, s. 90) Pistetestauksen sidosryhmät ja arvon muodostuminen on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Pistetestauksen arvon muodostuminen ja sidosryhmät.

Pistetestauksen edellytyksenä on, että edellisten työvaiheiden tuottama kumulatiivinen arvo on riittävä pistetestauksen aloittamiselle. Pistetestausta voidaan harvoin toteuttaa yhdellä kerralla, joten työvaihe joudutaan osittelemaan, mikä korostaa laatujohtamisen

yhteistyö elementtiä. Osittelun hallinnalla varmistutaan, että pistetestausta ei jouduta uusimaan johtuen puutteellisesta projektinhallinnasta.

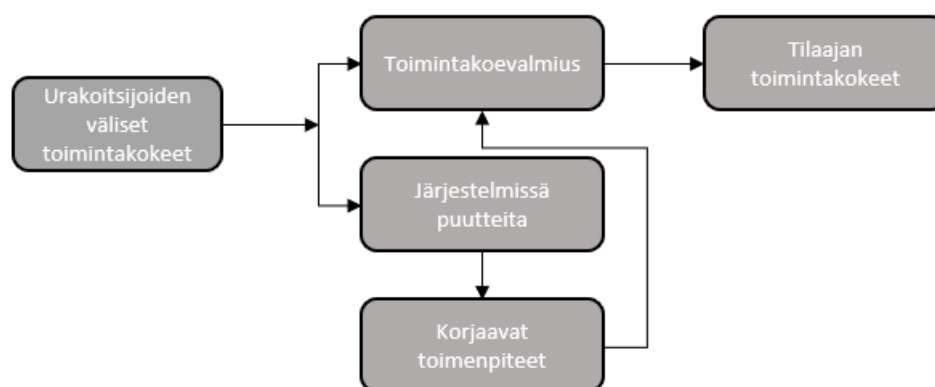
Pistetestauksesta täytettävä pöytäkirja toimii rakennusautomaatiourakoitsijan omana - ja pääurakoitsijan projektinhallinnan työkaluna, jonka avulla jäljellä olevaa työmäärää voidaan arvioida ja aikatauluttaa. Pistetestauksen hukan synty on esitetty taulukossa 11.

*Taulukko 11. Pistetestauksen mahdollinen hukka.*

Hukka	Syy/seuraus
Liike	Puutteellisista työsuoritteista aiheutuva tarpeeton liike, joka hidastaa pistetestausta
Odotus	Puutteellisista asennuksista, kytkennöistä tai grafiikasta johtuva odotusaika, joka pysäyttää pistetestauksen
Ylituotanto	Ennenaikainen pistetestaus, jolloin prosesseja voidaan testata vain osittain, joka aiheuttaa työn epäjatkuvuutta
Viallinen tuote	Puutteellisista työsuoritteista aiheutuva hukka, joka sitoo resursseja ja aiheuttaa ajallista hukkaa

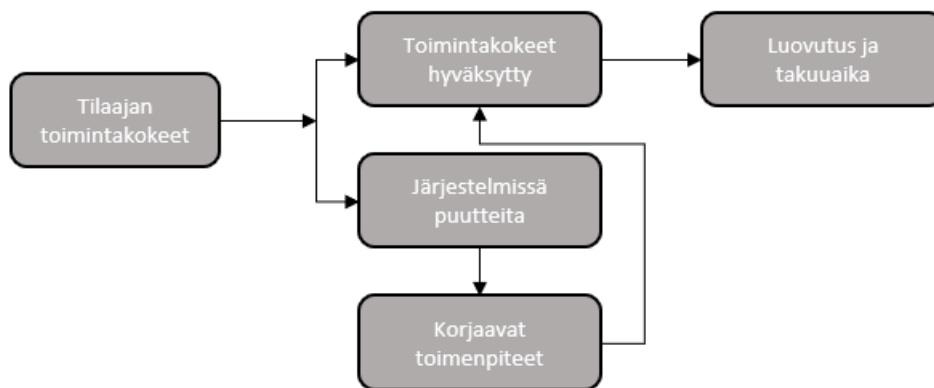
#### 4.7.3.3 Tilaajan toimintakokeet

Ennen tilaajan toimintakokeita, pidetään urakoitsijoiden toimintakokeet. Urakoitsijoiden toimintakokeita voidaan pitää laadun hallinnan työkaluna, jossa varmistutaan, että järjestelmät täyttävät tilaajan vaatimukset. (Judi ym., 2011, s. 495) Urakoitsijoiden väliset toimintakokeet antavat suuntaa pääurakoitsijan tuotannonohjauksen hallinnasta, joka on yksi projektinhallinnan aktiviteeteistä. (Walker, 2015, s. 11). Urakoitsijoiden välisten toimintakokeiden prosessi on esitetty kuvassa 17.



*Kuva 17. Urakoitsijoiden välisten toimintakokeiden prosessi.*

Urakoitsijoiden välisten toimintakokeiden tuottama arvo perustuu työvaiheiden työpanoksen tarkastamiseen. Urakoitsijoiden toimintakokeissa syntyvä hukka, eli puutteet laadullisissa vaatimuksissa ovat sidoksissa edellisten työvaiheiden puutteelliseen projektinhallintaan. Kun työvaiheet ovat tuottaneet arvoa riittävästi, voidaan suorittaa tilaajan toimintakokeet. Kuvassa 18 on esitetty tilaajan toimintakokeiden prosessi.



Kuva 18. Tilaajan toimintakokeiden eteneminen.

Tilaajan toimintakokeet etenevät kuten urakoitsijoiden väliset toimintakokeet, mutta paikalla ovat tilaajan edustajat. Kaikki tekijät, jotka eivät täytä laadullisia vaatimuksia, joihin puutteellisesta projektinhallinnasta ovat hukkaa. Toimintakokeissa syntyvä hukka esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Toimintakokeissa mahdollisesti syntyvä hukka.

Hukka	Syy
Liike	Tarpeeton liike, joka aiheutuu puutteellisesti suoritetuista työvaiheista
Odotus	Odotusaika, joka muodostuu resurssien puutteesta toimintakokeiden aloittamiselle
Ylituotanto	Hukka, joka syntyy, kun toimintakokeet pidetään vaiheessa, jossa järjestelmät eivät ole valmiita
Yliprosessointi	Hukka, joka syntyy, kun toimintakokeisiin kohdistetaan liikaa resursseja
Viallinen tuote	Hukka, joka syntyy toimintakokeissa havaituista laadullisista puutteista, jotka voivat johtaa toimintakokeen uusintaan

#### 4.7.3.4 Luovutus ja takuu aika sekä projektin päättäminen

Projektin luovutusvaiheesta syntyvä hukkaa on riippuvainen työvaiheiden tiedonhallinnasta. Tiedonhallinnan avulla projektista kertynyttä tietoa voidaan hallita tarkoituksenmukaisesti läpi projektin. Tiedonhallinta on sidoksissa informaatio - ja kommunikatioverkon hallintaan ja ylläpitoon (Walker, 2015, s. 11).

Projektinhallinnan onnistuessa, luovutusmateriaalit ovat kasattu ja tallennettu valmiiksi luotuun yleisessä käytössä olevaan digitaaliseen projektikansiorakenteeseen. Työvaiheelle tuottaa arvoa tiedon tallennuksen jatkuvuus työvaiheiden mukaisesti, mikä ehkäisee resurssien tarpeettoman kohdistamisen luovutusmateriaalin tuottamiseksi. Hyväksytyn luovutuksen ja vastaanoton jälkeen alkaa 24 kuukauden takuu aika, joka korostaa kaikkien työvaiheiden projektinhallintaa.



## 5 Yhteenveto teoriaosuudesta

Pääurakoitsijan projektin toteutus ja projektille asetettujen tavoitteiden saavuttaminen ovat riippuvaisia pääurakoitsijan käyttämien aliurakoitsijoiden oman työn projektinhallinnasta. Yhden aliurakoitsijan epäonnistunut projektinhallinta voi johtaa muiden urakoitsijoiden työn viivästymiseen, joka aiheuttaa hukkaa useille sidosryhmille. Tämän vuoksi yksittäisen urakoitsijan projektinhallinta on tärkeä tekijä, jonka avulla pääurakoitsija saavuttaa hankkeelle asettamia. (Yoke-Lian ym., 2012, s. 1)

Rakennusautomaatioprojektinhallinta on monialaista osaamista ja yhteistyötä vaativa kokonaisuus, joka korostaa projektista vastaavaan henkilön sosiaalista ja teknistä osaamista. Projektinhallinta on suuresti riippuvainen pääurakoitsijan toiminnasta, sillä pääurakoitsija on vastuussa työmaanjohtotehtävistä, jotka sisältävät muun muassa aikataulujen laatimisen ja töiden yhteensovittamisen. Projektinhallintaan vaikuttaa tiivistetysti

- Suunnitelmien laatu
- Sisäisen organisaation resurssit
- Kommunikaation toimivuus
- Sidosryhmien kokemus ja ymmärrys toistensa työvaiheista
- Projektin laajuus ja kompleksisuus.

Pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalut, kuten urakoitsijapalaverit ja niissä hyödynnettävät työvaiheilmoitukset ja LP- / LBMS-menetelmät tarjoavat työkalun myös rakennusautomaatiourakoitsijan omaan projektinhallintaan. Edellä mainitut työkalut ovat kuitenkin kankeita ja vain suuntaa antavia, eivätkä välttämättä sisällä riittävästi informaatiota, jotta niitä voitaisiin suoraan implementoida osaksi rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallintaa.

Lean-filosofian ja laatujohtamisen implementointi osaksi omaa projektinhallintaa parantaa työvaiheiden riskien hallintaa, parantamalla ymmärrystä työvaiheiden arvon muodostumista ja merkityksestä seuraavalle työvaiheelle. Riskien tunnistaminen vähentää työvaiheissa syntyvää hukkaa, joka heikentää projektin taloudellista tuottavuutta. Lean-filosofia ja laatujohtaminen tähtäävät jatkuvaan parantamiseen, minkä tulisi olla projektinhallinnan itseisarvo.

Kirjallisuustutkimus antoi suuntaa projektinhallinnan näkökulmasta kriittisille vaiheille, jotka voivat synnyttää hukkaa. Johtuen useista sidosryhmistä ja useista aktiivisena olevista työvaiheista, oman työn suunnittelu ja aikataulutus sekä toimintakokeet muodostuvat kriittisiksi vaiheiksi onnistuneen käyttöönoton toteuttamiseksi.

Kirjallisuustutkimus jätti kuitenkin vastaamatta kysymykseen, miten pääurakoitsijat kokevat rakennusautomaation osana projektinhallintaa ja mitkä menetelmät ovat todettu toimiviksi onnistuneen rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöönotossa. Kirjallisuustutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin tehdä hypoteesi, että toimintakokeet työvaiheena ovat ratkaisevassa asemassa onnistuneessa käyttöönotossa. Toimintakokeiden merkitys perustuu edellisten työvaiheiden kumulatiiviseen vaikutukseen, jotka puutteellisesti hallittuna ja dokumentoituna voivat aiheuttaa merkittävää hukkaa pääurakoitsijalle. Kirjallisuustutkimuksessa avoimeksi jääneitä kysymyksiä tarkastellaan empiirisessä tutkimuksessa, jossa näihin pyritään löytämään vastauksia.

## 6 Empiirinen tutkimus

Tässä luvussa esitetään diplomityön empiirinen tutkimus. Empiirisen tutkimuksen tavoite on löytää vastauksia tutkimuskysymyksiin ja kirjallisuustutkimuksessa vastaamatta jääneisiin kysymyksiin. Tässä luvussa käsitellään rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallinnan kehittämistarpeita pääurakoitsijan näkökulmasta haastattelututkimuksen avulla.

### 6.1 Haastattelujen toteutus ja analysointi

Empiirisen tutkimuksen tarkoitus on kartoittaa pääurakoitsijan kokemuksia rakennusautomaatiosta, sen käyttöönottoon vaikuttavista menetelmistä ja työvaiheista. Empiiristä tutkimusta varten haastateltiin merkittävien pääurakoitsijoiden talotekniikasta vastaavia tahoja, jotka ovat pääurakoitsijan puolelta avainasemassa onnistuneen rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöönotossa. Kaikki haastateltavat edustavat eri yrityksiä ja heillä on vähintään 10 vuoden kokemus alalta.

Haastattelututkimuksen tarkoitus on vahvistaa kirjallisuustutkimuksessa tehtyjä havaintoja ja täydentää avoimeksi jääneitä kysymyksiä. Haastattelututkimuksessa hyödynnetään haastateltavien kokemuksia rakennusautomaatiosta osana rakennushanketta parempien projektinhallinnan menetelmien löytämiseksi, jotka edesauttavat rakennusautomaatiojärjestelmän onnistuneessa käyttöönotossa. Tutkimukseen haastateltiin seuraavia henkilöitä:

- H1. Pääurakoitsija 1. talotekniikkapäällikkö. 20.3.2018. Vantaa.
- H2. Pääurakoitsija 2. talotekniikka-asiantuntija. 21.3.2018. Helsinki
- H3. Pääurakoitsija 3. sähkövalvoja. 21.3.2018 Vantaa
- H4. Pääurakoitsija 4. TATE-koordinaattori. 22.3.2018 Vantaa
- H5. Pääurakoitsija 5. talotekniikka-asiantuntija. 27.3.2018. Helsinki
- H6. Pääurakoitsija 6. talotekniikkapäällikkö. 27.3.2018. Helsinki
- H7. Pääurakoitsija 7. talotekniikkavalvoja 29.3.2018 Helsinki
- H8. Pääurakoitsija 8. TATE-projektipäällikkö. 3.4.2018. Helsinki
- H9. Pääurakoitsija 9. Tulosityksikön johtaja, talotekniikka. 11.4.2018. Helsinki
- H10. Pääurakoitsija 10. Hankepäällikkö 12.4.2018. Helsinki

Haastattelut toteutettiin käyttämällä puolistrukturoitua haastattelumenetelmää eli teema-haastattelua. Teemahaastattelu on kvalitatiivinen haastattelumenetelmä, jonka avulla pyritään kartoittamaan haastateltavan omia kokemuksia ja näkemyksiä. (Doody ym., 2012, s.30) Puolistrukturoidulle haastattelumenetelmälle ominaisesti teemahaastattelun näkökohta on ennalta valittu. Teemahaastattelun etuna voidaan pitää joustavuutta, joka mahdollistaa haastateltavan omien kokemusten kartoittamisen. Teemahaastattelussa käytetyt haastattelukysymykset ovat esitetty liitteessä 1.

Haastattelut nauhoitettiin, jonka pohjalta syntynyt aineisto jaettiin haastattelujen ja kirjallisuustutkimuksen perusteella neljään eri teemaan.

1. Kokemukset rakennusautomaatiosta
2. Rakennusautomaation työvaiheiden hallinta ja yhteensovitus
3. Rakennusautomaatiotöiden suoritus
4. Rakennusautomaatiourakoitsijan ja pääurakoitsijan kommunikointi.

Yllä esitettyjen teemojen alle tiivistettiin haastateltavien näkemykset teemoittain, joita analysoidaan kirjallisuustutkimuksen mukaisesti projektinhallinnan ja siihen vaikuttavien tekijöiden avulla.

Ensimmäinen teema ”kokemuksia rakennusautomaatiosta” käsittelee rakennusautomaatioprojektien toteutuksen nykytilaa pääurakoitsijan näkökulmasta. Nykytilaa käsitellään haastateltavien kokemusten kautta, joiden perusteella tunnistetaan projektinhallintaan toistuvasti vaikuttavia negatiivisia tekijöitä ja rakennusautomaatiourakoitsijassa arvostettavia piirteitä.

Toinen teema ”työvaiheiden hallinta ja yhteensovitus” käsittelee rakennusautomaatio- ja pääurakoitsijan käyttämiä menetelmiä töiden yhteensovittamiseksi, jotta voidaan varmistua työvaiheiden jatkuvuudesta. Työvaiheiden hallinnan ja yhteensovittamisen näkökulmasta tunnistetaan haastavimmat työvaiheet, jotka asettavat haasteita rakennusautomaatio- ja pääurakoitsijan projektinhallinnalle.

Kolmas teema ”rakennusautomaatiotöiden suoritus” käsittelee haastavaksi tunnistettujen työvaiheiden suorittamista ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

Neljäs teema ”rakennusautomaatiourakoitsijan ja pääurakoitsijan kommunikointi” käsittelee tiedon kulkua ja sitä haittaavia tekijöitä, jotka vaikuttavat työvaiheiden hallintaan ja yhteensovittamiseen sekä töiden suorittamiseen.

## **6.2 Kokemukset rakennusautomaatiosta**

Rakennusautomaatio on yksi osa pääurakoitsijan projektinhallintaa, jonka merkitys korostuu rakennushankkeen loppuvaiheessa, niin sanotussa ”viimeistely vaiheessa”. Rakennusautomaatio on kustannuksiltaan hyvin pieni osa rakennushanketta, mutta merkitys hankkeen lopputulokselle koetaan merkittävänä. Rakennusautomaation koetaan yleisesti merkitsevän kustannuksiaan enemmän tilan loppukäyttäjälle, sillä talotekniikan toimivuus on sidoksissa oikein säädettyyn ja toimivaan rakennusautomaatiojärjestelmään.

Pääurakoitsijan projektinhallinnasta vastaaville henkilöille rakennusautomaatio on yksi urakka muiden joukossa, eikä projektinhallinnasta vastaavat henkilöt tyypillisesti halua puuttua rakennusautomaatiojärjestelmän teknisiin ratkaisuihin. Pääurakoitsijan projektinhallinnasta vastaaville henkilöille koettiin riittävän, että he ymmärtävät loogiset riippuvuudet talotekniikkaurakoitsijoiden välisissä töissä ja hahmottavat talotekniikan muodostaman kokonaisuuden, jotta talotekniikkaurakoitsijoiden töiden etenemisestä voidaan varmistua. Pääurakoitsijan projektinhallinnasta vastaavat henkilöt saavat tukea pääurakoitsijan talotekniikka-asiantuntijoilta, joiden osaamisalueeseen rakennusautomaatiojärjestelmän tekniset ratkaisut kuuluvat. Talotekniikka-asiantuntijat raportoivat ja konsultoivat pääurakoitsijan projektinhallinnasta vastaavia henkilöitä projektinhallinnan tueksi.

### **6.2.1 Muutosten hallinta**

Rakennusautomaation sijoittuminen rakennushankkeen viimeistelyvaiheeseen aiheuttaa sen, että rakennusautomaatio on tyypillisesti jatkuvan muutoksen ilmapiirissä. Muutoksia voivat aiheuttaa työn edetessä havaitut suunnitelmapuutteet ja ristiriidat suunnitelmien yhteensovittamisessa sekä tilanteet, joissa toteutus ei vastaa suunnitelmia. Hankkeesta riippuen on myös mahdollista, että suunnitelmat tarkentuvat vasta viimeistelyvaiheessa, mikä edellyttää nopeaa reagointia tuleviin muutoksiin työn suorittamisessa. Onnistunut rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöönotto edellyttää rakennusautomaatiourakoitsijalta sopeutumista jatkuvan muutoksen ilmapiiriin, joka voidaan nähdä työvaiheiden ja resurssien uudelleen suuntaamisella. Jatkuvan muutoksen hallinta edellyttää aktiivista läsnäoloa ja projektinhallinnan kehittämistä muuttuviin olosuhteisiin. Tämän vuoksi

jatkuvaa muutosta voidaan ajatella projektinhallinnan ärsykkeenä, johon reagointi riittäväällä nopeudella vähentää työvaiheissa syntyvää hukkaa mahdollistaen työn jatkuvuuden.

Muutosten hallinta on myös sidoksissa rakennusautomaatiourakoitsijan sisäisen organisaation hallintaan. Muutokset rakennushankkeelle kohdistetuista sisäisen organisaation avainhenkilöistä voivat aiheuttaa häiriötekijöitä työn jatkuvuudelle synnyttäen hukkaa. Pääurakoitsijalle syntyvä hukka aiheutuu, kun hankkeesta kertyvän henkisen pääoman eli kokemuksen ja rakennushankkeesta saadun tiedon siirto rakennusautomaatiourakoitsijan sisäisen organisaation avainhenkilöiden välillä on puutteellinen. Puutteellisuus ilmenee riittämättömänä tiedonkulkuna sisäisen organisaation sisällä tilanteissa, joissa avainhenkilö vaihtuu.

### **6.2.2 Merkitys pääurakoitsijalle ja tilan loppukäyttäjälle**

Rakennusautomaatiourakoitsijan merkitystä korostaa usein vetovastuu urakoitsijoiden keskinäisten toimintakokeiden vetäjänä. Tehtävän onnistuminen muodostuu onnistuneiden työsuoritusten lisäksi onnistuneesta dokumentoinnista. Dokumentointi on arvokas osa rakennusautomaatiourakoitsijan ja pääurakoitsijan projektinhallintaa, jolla voidaan arvioida työvaiheiden tilaa ja tarvittavien resurssien määrää sekä seurata muiden urakoitsijoiden etenemistä. Dokumentointi on myös oleellinen osa jatkuvaa muutosten hallintaa, joka auttaa suoritusten analysoinnissa ja mahdollisten lisätöiden selvittämisessä. Puutteellisesti suoritettut ja huonosti dokumentoidut urakoitsijoiden väliset toimintakokeet ilmenevät tyypillisesti tilaajan suorittamissa toimintakokeissa, joiden uusiminen aiheuttaa ajallista ja taloudellista hukkaa niin urakoitsijoille, kuin pääurakoitsijalle.

Rakennusautomaatiojärjestelmä on tilan loppukäyttäjälle huomaamaton, kun toiminta tapahtuu suunnitelmien mukaisesti. Rakennusautomaatiojärjestelmän näkyvyys tilan loppukäyttäjälle korostuu tilanteissa, joissa rakennusautomaatiojärjestelmä on puutteellinen, eikä näin ollen vastaa tilan loppukäyttäjän laadullisia vaatimuksia. Rakennusautomaatiojärjestelmän puutteellinen toiminta sitoo rakennusautomaatiourakoitsijan lisäksi usein pääurakoitsijan resursseja asettaen paineita molempien projektinhallinnalle.

### **6.2.3 Yleisesti puutteellisiksi koetut tekijät**

Kokemukset rakennusautomaatiosta vaihtelevat tapauskohtaisesti ja ovat voimakkaasti sidoksissa rakennusautomaatiourakan avainhenkilöihin. Toistuviksi puutteellisiksi ja kehitettäväksi asioiksi nousivat seuraavat tekijät:

- Rakennusautomaatiourakoitsijan oman työn projektinhallinta
- Ymmärrys urakasopimuksista ja yleisistä sopimusehdoista
- Rakennusautomaatiourakoitsijan sisäisen organisaation hallinta
- Työvaiheiden yhteensovitus ja kommunikointi muiden urakoitsijoiden kanssa
- Etätyö ja läsnäolon puute
- Luovutuksen jälkeiset työt.

Rakennusautomaatiourakoitsijan toistuvaksi puutteeksi koettiin puutteellinen oman työn projektinhallinta. Puutteellinen projektinhallinta ilmenee omien töiden aikatauluttamisessa ja yhteensovittamisessa muiden urakoitsijoiden töihin, työvaiheiden dokumentoinnissa, sopimusten hallinnassa ja sisäisen organisaation kommunikoinnissa. Kaikki edellä mainitut tekijät vaikuttavat luovutuksen jälkeisiin töihin, joiden hoito koettiin puutteelliseksi.

### 6.2.4 Arvostettavat piirteet

Puutteellisten tekijöiden lisäksi haastattelussa tunnistettiin rakennusautomaatiourakoitsijassa arvostettavia piirteitä, joihin rakennusautomaatiourakoitsijan tulee pyrkiä. Rakennusautomaatiourakoitsijan toiminnassa arvostettavaksi piirteiksi nousivat:

- Kokonaisvaltainen ymmärrys rakennushankkeesta
- Halu ja kyky käsitellä työmaata yhtenä kokonaisuutena
- Ymmärrys teknisistä – ja kaupallisista asiakirjoista
- Järjestelmällisyys ja kirjallinen tuotos
- Oman ammattitaidon hyödyntäminen
- Avoin kommunikointi ja läsnäolo

Kokonaisvaltainen ymmärrys rakennushankkeesta tukee omaa projektinhallintaa tuoden ymmärrystä pääurakoitsijan ja muiden urakoitsijoiden töistä ja velvollisuuksista. Tämä mahdollistaa työmaan käsittelyn yhtenä kokonaisuutena, jossa rakennusautomaatio on yksi osa. Kokonaisuuden hahmottaminen mahdollistaa urakoitsijoiden riippuvuussuhteiden ymmärtämisen, mikä korostuu työvaiheiden ajoittamisessa.

Kaikki yllä mainitut arvostettavat piirteet ovat sidoksissa laadukkaaseen projektinhallintaan, joka mahdollistaa työvaiheiden jatkuvuuden ja työvaiheista syntyvän laadukkaan dokumentoinnin varmistaen projektille asetettujen tavoitteiden saavuttamisen. Onnistuneella projektinhallinnalla mahdollistetaan onnistunut rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöönotto ja minimoidaan hukkaa aiheuttavat riskitekijät.

Seuraavissa kappaleissa puutteelliset tekijät yhdistetään työvaiheiden hallintaan ja töiden yhteensovittamiseen sekä työn suorittamiseen. Kappaleissa käsitellään haastattelujen perusteella tunnistettuja rakennusautomaatiourakan haastavasti hallittavia työvaiheita ja perehdytään siihen, mistä puutteelliset tekijät haastavissa työvaiheissa johtuvat. Samalla perehdytään pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalujen soveltuvuuteen rakennusautomaatiourakoitsijan ohjaukseen haastavaksi tunnistetuissa työvaiheissa.

## 6.3 *Rakennusautomaation työvaiheiden hallinta ja yhteensovitus*

Työvaiheiden hallinnan tavoitteena on toteuttaa nolla-virheluovutus, jossa projektille asetut ajalliset, laadulliset ja taloudelliset tavoitteet täyttyvät. Nolla virheluovutus edellyttää rakennusautomaatiourakoitsijalta ja pääurakoitsijalta työvaiheiden hallintaa ja töiden yhteensovittamista työmaan muihin aktiviteetteihin. Projektinhallinnan tavoitteena on mahdollistaa työn jatkuvuus, mikä edellyttää laadullisten puutteiden minimointia ja nopeaa havaitsemista, jotta korjaavat toimenpiteet voidaan aloittaa ajoissa. Laadullisten puutteiden havaitseminen ja korjaaminen hankkeen loppuvaiheessa lisää tyypillisesti kustannuksia.

Rakennusautomaatiourakoitsijan oma projektinhallinta mielletään usein haastavaksi pääurakoitsijan näkökulmasta. Rakennusautomaatiourakoitsijalla voi olla samanaikaisesti aktiivisena monta projektia, mikä vaatii priorisointia ja oman työn aikatauluttamista niin, että jokaiselle on varattu riittävästi aikaa. Omien töiden aikatauluttamisessa korostuu työvaiheiden ennakointi. Ennakoinnilla tarkoitetaan riittävien resurssien varaamista työvaiheisiin ja muutosten hallintaa, jolla varaudutaan mahdollisiin riskeihin työvaiheiden suorittamisessa.

Työvaiheiden hallinnan ja yhteensovittamisen sujuvuuden kannalta on oleellista, että urakoitsijat ovat tietoisia muiden urakoitsijoiden sekä pääurakoitsijan töistä ja velvollisuuksista. Ymmärrys muiden urakoitsijoiden työstä ja työvaiheista parantaa omaa projektinhallintaa parantaen resurssien kohdistamisen ajoitusta. Rakennusautomaatiourakoitsijan tietoisuus muiden urakoitsijoiden työvaiheista koettiin vaihtelevasti. Tietoisuutta vähensi vähäinen osallistuminen urakoitsijapalaveriin, jossa käsitellään työmaan aikataulua ja työvaiheiden yhteensovittamista.

Projektinhallinnan onnistuminen vaatii sisäisen - ja ulkoisen organisaation projektinhallinnan integroimista niin, että työvaiheiden jatkuvuudelle on edellytykset. Integroinnin onnistumisen koettiin vaativaan kokonaisvaltaista ymmärrystä muiden urakoitsijoiden töistä ja projektinhallintaan käytettävistä työkaluista.

### 6.3.1 Ymmärrys pääurakoitsijan ja muiden urakoitsijoiden töistä

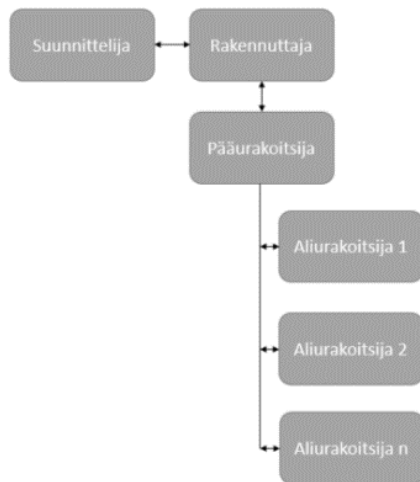
Yleisesti ymmärryksen muista urakoitsijoista koettiin olevan kohtuullisella tasolla tapauksissa, joissa urakkarajapinnat tulevat vastaan. Urakkarajapinnat tulevat tyypillisesti vastaan rakennusautomaatiourakoitsijan ulkoisen organisaation muodostamassa sidosryhmässä. Haastavaksi tekijäksi koettiin kuitenkin ymmärrys ulkoisten sidosryhmien työvaiheiden loogisista riippuvuuksista ja työvaiheiden vaatimasta ajasta. Muiden urakoitsijoiden työvaiheiden vaatiman ajan ymmärtämisellä mahdollistetaan omien resurssien kustannustehokas kohdistaminen.

Rakennusautomaatiourakoitsijan ymmärrys pääurakoitsijan töistä ja velvollisuuksista koettiin kuitenkin heikoksi, mutta rakennushankkeen etenemisen myötä nopeasti opittavaksi.

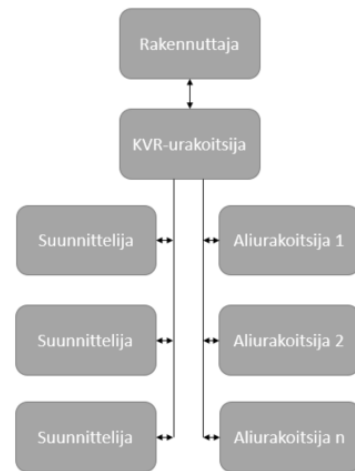
*”Rakennusautomaatiourakoitsijalla ei ole riittävää näkemystä koko rakennushankkeesta etenäkään alkuvaiheessa. Juna on usein jo mennyt, kun asioiden ymmärrys on hyvällä tasolla” (H4)*

Pääurakoitsijan töiden ja velvollisuuksien ymmärtämisen koettiin parantuvan kokemuksen myötä. Kokemuksen myötä saadaan parempi ymmärrys rakennushankkeen urakka-muodoista ja sopimusehdoista.

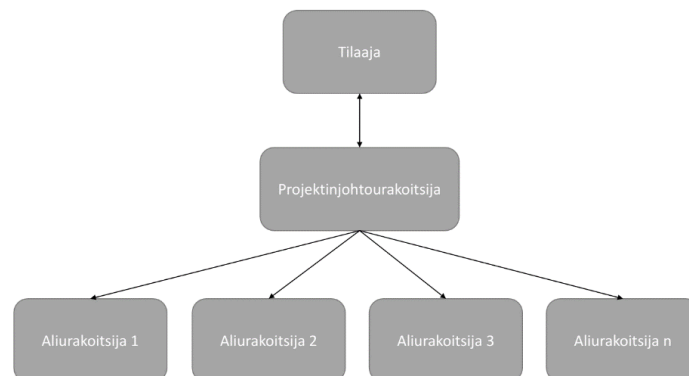
Keskeisen jaottelun urakkamuodoille muodostavat ulkoisen organisaation vastuunjako hankkeen suunnittelussa ja läpiviennissä. Kuissa 19-21 on esitetty tyypillisten urakkamuotojen periaatteellinen jakautuminen.



Kuva 19. Kokonaisurakka



Kuva 20. Kokonaisvastuu-urakka



Kuva 21. Projektinjohtourakka

Urakkamuodot vaikuttavat rakennushankkeen sopimussuhteisiin ja kulkuun suunnittelusta toteutukseen, mikä näkyy pääurakoitsijan projektinhallinnassa. Rakennusautomaatiourakoitsijan urakkaan hankkeen urakkamuodolla ei tyypillisesti ole suurta merkitystä, sillä rakennusautomaatiourakka on tyypillisesti alistettu pää- tai LV-urakoitsijalle. Urakkamuoto heijastuu kuitenkin projektinhallintaan suunnittelun- ja tuotannonohjauksen sekä kaupallisten asiakirjojen kautta, mikä vaikuttaa esimerkiksi lisä- ja muutostöiden käsittelyyn. Urakkamuoto vaikuttaa hankkeen tilaajan ja pääurakoitsijan sekä muiden urakoitsijoiden sopimussuhteisiin.

*”Urakkamuoto vaikuttaa siihen, millä mentaliteetillä pääurakoitsija on liikkeellä. Urakkamuoto vaikuttaa aliurakoitsijan rooliin erityisesti lisä- ja muutostöissä” (H1)*

Kokonaisurakka pienentää rakennuttajan riskejä, jotka ovat sidoksissa laadittuihin suunnitelmiin. Tämä voi aiheuttaa kokonaisurakan urakkahinnan nousun johtuen pääurakoitsijan taloudellisen riskin kasvusta, sillä pääurakoitsijalla on vastuu sopimussuhteessa

olevien aliurakoitsijoiden työstä. Mahdolliset lisä- ja muutostyöt voidaan urakkasopimuksessa sopia laskutettavaksi sovittujen yksikköhintojen mukaisesti.

Kokonaisvastuu-urakan maksuperusteena on usein kokoanishinta, joka maksetaan rakentamisvaiheiden etenemisen mukaisesti. Muutos- tai lisätyöstä aiheutuvia kustannuksia ei ole, ellei muutostarve perustu tilaajan antamien lähtötietojen virheellisyyteen tai hankkeen laajuuden muutokseen. Tämä voi aiheuttaa erimielisyyksiä siitä, mitkä muutokset ovat urakkaan kuuluvia ja mitkä eivät.

Projektinjohtourakassa projektinjohtourakoitsija (pääurakoitsija) johtavat hanketta yhteistyössä tilaajan kanssa. Projektinjohtourakka urakkamuotona sopii hankkeisiin, joissa vaaditaan joustavuutta, kuten myöhäiset käyttäjäpäätökset sekä limitetty suunnittelu ja toteutus, mikä asettaa haasteita rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallinnalle johtuen mahdollisista muutoksista. Tämä ilmenee myös haasteena urakkahinnan määrittämiselle, sillä työt voidaan aloittaa, vaikka suunnitelmien tarkkuus ei olisi riittävällä tasolla.

### 6.3.2 Kriittiset työvaiheet projektinhallinnan näkökulmasta

Kriittisiksi työvaiheiksi projektinhallinnalle pääurakoitsijan näkökulmasta nousivat omien töiden suunnittelu, työkuviin toteutus ja toimintakokeet. Omien töiden suunnittelu ja työkuviin toteutus vaikuttavat omien ja muiden urakoitsijoiden resurssien ohjaukseen, mitkä heijastuvat toimintakoevaiheeseen.

Kriittisimmäksi hallittavaksi työvaiheeksi nousi toimintakokeet. Projektinhallinnan merkityksen koetaan korostuvan rakennushankkeen loppuvaiheessa pistetestauksen ja tilaajan toimintakokeiden muodostamalla ajanjaksolla. Urakoitsijoiden toimintakokeiden aloittamisen edellytyksenä on, että rakennusautomaatiourakoitsija on saanut pistetestauksen suoritettua ja muiden urakoitsijoiden töillä on riittävä valmiusaste. Kyseisellä ajanjaksolla koetaan, että urakoitsijoille on muodostunut selkeä kuva rakennushankkeen kokonaisuudesta, mutta ajanjakson aikataulun ja resurssien hallinta mielletään haasteelliseksi.

*”Kaikilla urakoitsijoilla on hieman puutteita hahmottaa loppuvaiheen aikataulua” (H3)*

*”Toimintakokeisiin valmistautuminen vaatii pääurakoitsijalta paljon resursseja, sillä se tarkoittaa sitä, että tilojen valmiusasteen on oltava riittävä toimintakokeiden aloittamiseksi” (H7)*

Toimintakokeiden suorittamisen koettiin vaativan pääurakoitsijalta paljon resursseja ja tiukkaa valvontaa, jotta varmistutaan järjestelmien suunnitelmien mukaisesta toiminnasta.

### 6.3.3 Pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalut

Pääurakoitsijoiden yleisesti käyttämä Last Planner-menetelmä (LP) koettiin yleisesti hyväksi menetelmäksi lyhyen aikavälin operatiiviseen suunnitteluun, vaikka menetelmän implementointi rakennusautomaatioon on vielä vähäistä. LP-menetelmän vaikutuksen työvaiheiden toteuttamiseen koettiin tehostuvan, kun urakoitsijalaverien fokus oli tulevissa työsuoritteissa ja niitä estävissä tekijöissä. LP-menetelmän implementoinnin onnistumisen ja urakoitsijalaverin tuottaman arvon koettiin olevan sidoksissa urakoitsijoiden toimittamien työvaihe ilmoitusten laatuun ja aktiiviseen läsnäoloon urakoitsijalaverissa.



*”Monessa projektissa keskitytään siihen mitä on tehty vaikka pitäisi keskittyä siihen, mitä tullaan tekemään ja mitkä estävät töiden suorittamisen” (H2)*

Urakoitsijapalaverin sopivuus rakennusautomaatiolle koettiin hankkeesta riippuvaiseksi. Pienemmissä hankkeissa, kuten asunto-osakeyhtiöissä, urakoitsijapalaveri koettiin toimivaksi johtuen sidosryhmien rajoitetusta määrästä. Laajemmissa hankkeissa toimivaksi menetelmäksi on koettu järjestää erillinen talotekniikkapalaveri, jossa talotekniikkaurakoitsijoihin rajattu sidosryhmä käy yhdessä läpi tulevia työvaiheita ja niiden vaatimuksia muilta urakoitsijoilta. Urakoitsijapalaveriin osallistuvien sidosryhmien rajattu määrä parantaa kommunikoinnin tehokkuutta korostamalla tilaisuutta omiin työvaiheisiin vaikuttavien tekijöiden teknisenä tiedonvaihtona.

Työvaiheilmoitus voidaan nähdä työn jatkuvuuden varmistamisen työkaluna, joka laskee hukan syntymisen riskiä. Työvaiheilmoituksen laatu ja sen tuottama arvo perustuu työvaiheilmoituksen tarkkuuteen ja luettavuuteen, jotka koettiin olevan puutteellisia urakoitsijasta riippumatta. Työvaiheilmoitukseen vaaditaan selkokielineen erittely käynnissä olevista työvaiheista ja tulevista työvaiheista. Tulevien työvaiheiden lisäksi halutaan tietää, mitkä ovat työvaiheiden aloittamisen edellytykset ja esteet sekä mitä työsuoritteita vaaditaan muilta urakoitsijoilta. Edellä mainittujen tekijöiden dokumentointi työvaiheilmoitukseen edesauttaa pääurakoitsijan osalta työvaiheiden hallintaa ja yhteensovittamista parantaen työvaiheiden seuranta.

Mahdollisena tulevaisuudessa käytettävän työkaluna rakennusautomaation tuotannonohjaukseen mainittiin jo rakennuslalla käytössä oleva Congrid-ohjelmisto. Congrid-ohjelmistolla voidaan hallita työnaikaista dokumentointia ja tarkastuksia mobiilityökaluilla. Congrid-ohjelmiston laaja-alaisen implementoinnin koettiin parantavan ulkopuolisen tahon ymmärrystä työvaiheiden etenemisestä.

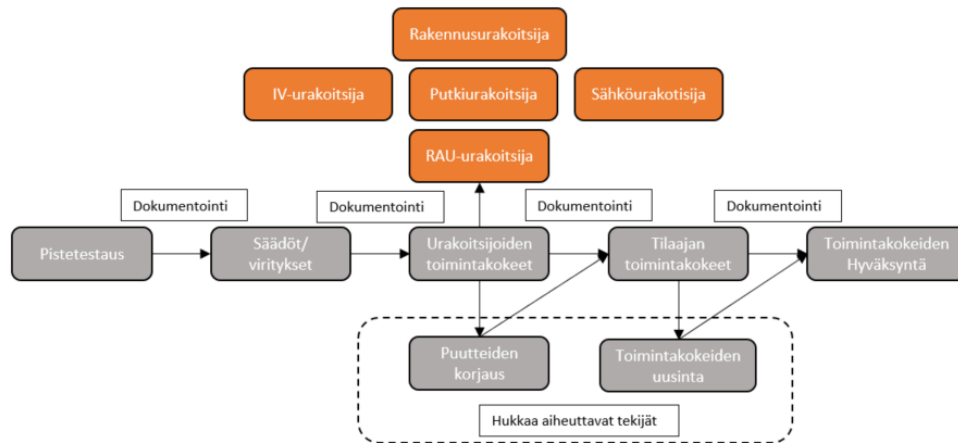
## **6.4 Rakennusautomaatiotöiden suoritus**

Työvaiheiden hallinnan ja yhteensovittamisen haastavuus on sidoksissa työn suorittamisen haastavuuteen, jolloin projektinhallinnan merkitys korostuu hukkaa aiheuttavien tekijöiden minimoimiseksi. Työvaiheiden hallinnan ja yhteensovittamisen mukaisesti työnsuorittamisen kannalta haastavimpia työvaiheita ovat omien töiden suunnittelu, työkuvioiden toteutus ja toimintakokeet.

Työvaiheiden haastavuus yleisesti perustuu resurssien ohjaukseen ja dokumentoinnin määrään tarpeeseen. Työvaiheiden haastavuuden koettiin olevan sidoksissa työvaiheen vaatimiin pääurakoitsijan resursseihin. Kappaleissa 6.4.1 ja 6.4.2 käsitellään työvaiheiden hallinnan kannalta kriittiseksi koettuja työvaiheita ja niiden dokumentoinnin merkitystä projektinhallinnan näkökulmasta.

### **6.4.1 Ajanjakso pistetestauksesta toimintakokeisiin**

Työvaiheiden hallinnassa kriittisimmäksi vaiheeksi koettiin ajanjakso pistetestauksen ja tilaajan toimintakokeen välissä, asettaen rakennusautomaatiotöiden suorituksen merkittävään rooliin. Ajanjakso sijoittuu projektin loppuvaiheeseen, minkä takia näihin varattu aika on tyypillisesti hyvin rajallinen johtuen aiemmissa työvaiheissa tapahtuneista viivästyksistä. Kuvassa 22 on esitetty edellä mainittu ajanjakso tiivistetysti.



Kuva 22. Ajanjakso pistetestauksesta hyväksytyihin toimintakokeisiin.

Ajanjakson työvaiheiden tehokas suoritus niin, että urakoitsijoille ja pääurakoitsijalle (rakennusurakoitsija) syntyvä hukka minimoituu asettaa haasteita ajanjakson työvaiheiden projektinhallinnalle. Yleisesti haastavaksi ja usein puutteelliseksi töiden suorittamisen kannalta koettiin ajanjaksolla tapahtuvat työsuoritteet ja niiden dokumentointi. Pistetestauksessa puutteeksi koettiin pisteiden toimivuuden kokonaisvaltainen varmistaminen ja ajantasainen dokumentointi itselleluovutusprotokollaan. Puutteellisesti suoritettu pistetestaus ilmenee toimintakokeissa, mikä lyhentää puutteiden korjaamiseen jäävä aikaan. Pääurakoitsijat kokivat, että rakennusautomaatiojärjestelmän ohjelmisto on pääsääntöisesti toimiva, mutta toimintakokeissa havaittavat pienet graafiset ja ohjelmalliset puutteet lisäävät hukkaa ja lisäävät korjattavien puutteiden määrää. Työn suorittamisen näkökulmasta onkin oleellista dokumentoida työvaiheet korjaavien toimenpiteiden edesauttamiseksi.

Dokumentoinnin merkitys rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallinnalle korostuu, jos rakennusautomaatiourakoitsijalla on urakoitsijoiden välisten toimintakokeiden veto-vastuu. Dokumentointi ajatellaan usein rasitteena, vaikka dokumentointi pitäisi nähdä rasitteen sijaan projektinhallinnan jatkuvan parantamisen työkaluna, jolla varmistetaan tehdyn työn laadullisten vaatimusten täyttyminen ja varmistetaan puutteiden aikainen havaitseminen, jotta puutteiden korjaamiseen jää riittävästi aikaa. Puutteellisen urakoitsijoiden toimintakokeiden ja dokumentoinnin riskinä on, että työvaiheiden puutteet jäävät huomioimatta ja ilmenevät vasta tilaajan toimintakokeissa, jolloin puutteiden korjaukseen varattu aika on tyypillisesti lyhyt. Työvaiheiden dokumentointi on siis osa riskien ennakointia.

Toimintakokeissa havaitut puutteet liittyvät usein rakennusautomaatiojärjestelmän puutteellisesti suoritettuun pistetestaukseen sekä ohjelmallisten toimintojen ja urakoitsijoiden toimittamien järjestelmien/kenttälaitteiden liittyntä rajapintoihin. Ohjelmoinnin hallinnan koettiin parantuvan, jos rakennusautomaatiourakoitsijalla on selkeä kuva LVI-prosessien toiminnasta ohjelmoinnin tueksi. Usein koettiin, että rakennusautomaatiourakoitsijan LVI-prosessien ymmärtäminen ei ole ominta alaa ja ymmärrys on suunnittelijan laatiman säätökaavion toimintaselostuksen varassa, jonka pohjalta ohjelmointi toteutetaan. Urakoitsijoiden toimintakokeet voidaan nähdä talotekniikka ohjaavan ohjelmiston käyttöönottona. Tämä korostaa jo edellä mainittua ymmärrystä LVI-prosesseista, jotta ohjelmalliset – ja tekniset puutteet järjestelmässä voidaan erottaa ongelman ratkaisun nopeuttamiseksi. Tästä syystä urakoitsijoiden toimintakokeet sitovat sisäisen – ja ulkoisen organisaation resursseja ollen suuri riskitekijä hukan syntymiselle.

Kaikki työvaiheet, jotka voidaan siirtää tältä ajanjaksolta aiemmin toteutettavaksi, koettiin helpottavan projektinhallintaa. Yksi jo käytössä oleva toimintatapa on siirtää ilmanvaihtokoneiden kenttälaitteiden asennusta ja pistetestausta tehtaalle. Ilmanvaihtokoneiden tehtaalla tapahtuva pistetestauksessa niihin asennettavat ja kytkettävien kenttälaitteiden toiminta ja kommunikointi rakennusautomaatiojärjestelmään varmistetaan jo tehtaalla ennen kuin ilmanvaihtokone toimitetaan työmaalle. Huolellisesti dokumentoituna tehdastestaus vähentää loppuvaiheessa tapahtuvaa työtä.

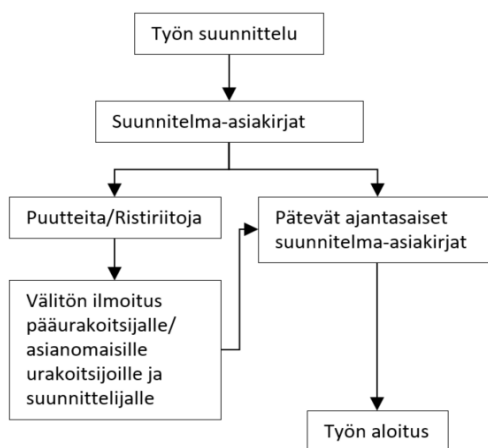
#### 6.4.2 Työkuvien hallinta ja dokumentointi

Haastavuuden rakennusautomaatiourakoitsijan toimittamiin työkuviin koettiin liittyvän tiukkaan aikatauluun ja työkuviin tarkkuuteen. Usein koettiin, että rakennusautomaatiourakoitsijalta ei saada työkuvia riittävän ajoissa. Yleiseksi toiveeksi koettiin, että työkuvat tulisi saada aikaisemmassa vaiheessa jakoon pääurakoitsijalle ja asianomaisille urakoitsijoille työn jatkuvuuden varmistamiseksi. Työkuvien riittävän aikaisen toimituksen edellytyksenä pidetään kuitenkin lähtötietojen, kuten suunnitelma-asiakirjojen riittävän aikaista toimitusta rakennusautomaatiourakoitsijalle.

Työkuvien toimittaminen ajoissa on myös sidoksissa oman työaikataulutukseen eli oman työn projektinhallintaan. Projektin avainhenkilöllä on tyypillisesti useampi projekti aktiivisena samanaikaisesti, mikä edellyttää oman työn priorisointia ja aikataulutusta.

Tiukoista aikataulullisista tavoitteista huolimatta, työkuviin on oltava laadukkaita, jotta vältetään puutteellisista työkuviin korjaamisesta aiheutuva hukka. Puutteellisten työkuviin korjaus ajoittuu tyypillisesti rakennusautomaatiourakan loppuvaiheeseen, joka on projektinhallinnan osalta jo valmiiksi kuormitettu ajanjakso. Työkuvien toteuttamista auttavat yrityksen sisäiset standardoidut menetelmät, jotka vähentävät laadullisia puutteita. Laadullisten puutteiden vähentämiseksi tärkeäksi tekijäksi nousi suunnitelma-asiakirjojen hallinta. Hukan ehkäisemiseksi on tärkeää, että työkuvat tehdään aina uusimilla suunnitelmilla, mikä edellyttää dokumenttien hallintaa.

Työvaiheiden ja järjestelmien yhteensovituksen hallintaan vaikuttaa urakoitsijoiden kokemuksen lisäksi suunnitelma-asiakirjojen laatu. Urakoitsijoiden kokemus korostuu tilanteissa, joissa suunnitelma-asiakirjat ovat puutteelliset tai ristiriitaiset. Kuvassa 21 on esitetty eteneminen töiden suunnittelusta työvaiheen aloitukseen niin, että puutteellisista suunnitelma-asiakirjoista aiheutuva hukka työkuviin toteutukseen minimoituu.

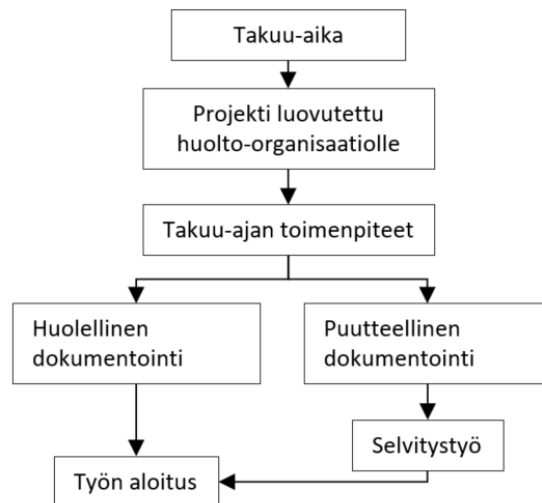


Kuva 21. Eteneminen työn suunnittelusta työvaiheen aloitukseen

### 6.4.3 Luovutuksen jälkeiset työt

Projektin luovutuksen jälkeiset työt koettiin haastavaksi, vaikka projekti olisi luovutettu puutteita. Haastavuuden koettiin liittyvän luovutuksen jälkeisten töiden suorittamisen haastavuuteen. Järjestelmien toimintaan vaikuttavia säätöjä ja virityksiä on usein haastava saada vastamaan tilan loppukäyttöä rakennusvaiheessa, joten säätöjä ja virityksiä joudutaan tarkastamaan takuuajana.

Luovutuksen jälkeen sisäisen organisaation avainhenkilö luovuttaa projektin huolto-osastolle, joka vastaa huolto – ja takuuajan toimenpiteistä. Sisäisen organisaation sisällä tapahtuva projektin siirto edellyttää, että projekti on dokumentoitu asianmukaisesti. Asianmukainen dokumentointi tarkoittaa, että digitaalinen projektikansio sisältää kaikki projektin toteuttamiseen vaaditun datan. Puutteellisesti suoritettu dokumentointi ilmenee sisäisen organisaation hukkana, joka heijastuu ulkoiseen organisaatioon. Kuvassa 22 on esitetty työvaiheiden aikaisen dokumentoinnin merkitys takuuajan toimenpiteille.



Kuva 22. Takuuajan toimenpiteiden eteneminen.

Puutteellinen dokumentointi on merkittävä takuuajan toimenpiteiden hukkatekijä. Työvaiheiden dokumentoinnin ollessa puutteellinen, selvitystyöstä aiheutuva hukka sisäiselle organisaatiolle on merkittävä. Selvitystyö sitoo sekä huolto-organisaation, että projektin avainhenkilön resursseja, jotka ovat kohdistettu seuraavaan projektiin.

### 6.5 Kommunikointi

Kommunikointi sidosryhmien välillä on oleellinen osa projektinhallintaa, joka vaikuttaa kaikkien työvaiheiden suorittamiseen. Kommunikointi edesauttaa resurssien kohdistamista ja ongelmatilanteiden selvittämistä, mikä vähentää urakoitsijoille syntyvää hukkaa parantaen työn jatkuvuutta. Sidosryhmien välistä kommunikaatiota haittaaviksi tekijöiksi koettiin

- Puuttuva luottamus
- Ilmaisun liiallinen teknisyyks
- Etätyöt
- Tiedonjaon puutteet.

Luottamus muodostuu yhteisesti sovittujen asioiden toteuttamisesta. Luottamus vaikuttaa merkittävästi projektinhallintaa vähentäen työn valvontaan ja tarkastukseen vaadittavia resursseja. Oman projektinhallinnan toimivuus heijastuu töiden suorittamiseen, mikä toimisessaan lisää luottamusta.

Urakoitsijat ovat eri alojen ammattilaisia, joten usein on haastavaa ymmärtää oman alan ulkopuolisten työvaiheiden vaatimuksia ja teknistä toteutusta. Urakoitsijoiden tekemillä työvaiheilla on kuitenkin loogiset riippuvuudet, minkä takia asioiden ilmaisun liiallinen teknisyyks kommunikaatiossa voi laskea muiden urakoitsijoiden ymmärrystä työvaiheesta, mikä voi vaikuttaa projektinhallintaan työn jatkuvuuden heikkenemisenä. Ilmaisun hallinta korostuu erityisesti urakoitsijapalaverissa, jossa työvaiheilmoitukset käydään läpi. Kommunikaation näkökulmasta, työvaiheilmoituksessa, kuten myös muussa kommunikaatiossa tulisi huomioida omien ajatusten organisointi ja ilmaisun selkokieli, jotta sidosryhmien ymmärrys toistensa työvaiheista parane. Ymmärryksen kasvu parantaa töiden yhteensovittamista ja töiden jatkuvuutta.

Kommunikaatioon, kuten myös muuhun projektinhallintaan negatiivisesti vaikuttavaksi tekijäksi koettiin etätyöt. Etätöiden tekeminen vähentää kasvokkain tapahtuvaa kommunikointia, mikä omalta osaltaan asettaa haasteita projektinhallinnalle. Etätyössä rakennusautomaatiourakoitsijan avainhenkilön projektinhallinta perustuu sisäisen sidosryhmän tai aliurakoitsijan toimittamiin raportteihin työetenemisestä.

Kommunikaation toimivuutta korostaa tiedonjaon avoimuus. Tiedonjaon puutteellisuus vähentää urakoitsijoiden välistä ymmärrystä toistensa työvaiheiden etenemisestä asettaen haasteita työvaiheiden yhteensovittamiselle.

Rakennusautomaatiourakoitsijan arvostettavissa piirteissä esiin noussut oma-aloitteisuus parantaa kuitenkin yhteistyötä. Oma-aloitteinen kommunikointi urakoitsijoiden välillä kuormittaa vähemmän pääurakoitsijan resursseja ja nopeuttaa urakoitsijoiden työtä.

Tiedonkulun rakennusautomaatiourakoitsijan ja pääurakoitsijan välillä koettiin olevan kohtuullisella tasolla, mutta parantamisen varaa on. Tiedon koettiin kulkevan tehokkaasti, jos ketju rakennusautomaatiourakoitsijan ja pääurakoitsijan välillä on riittävän lyhyt.

*”Pääurakoitsija haluaa olla osa ratkaisua, ei ongelmaa” (H1)*

Aktiivisen läsnäolon koettiin parantavan tiedonkulkua merkittävästi. Ongelmien koettiin olevan helpommin selvitettävissä, kun urakoitsijat istuvat yhdessä kasvokkain samassa pöydässä verrattuna ongelmien selvittämiseen sähköpostin välityksellä.

## **6.6 Empiirisen tutkimuksen yhteenveto**

Empiirisessä tutkimuksessa havaittiin useita projektinhallintaan vaikuttavia tekijöitä. Taulukossa 13 on esitetty projektinhallintaan vaikuttavista tekijöistä toistuvat teemat ja niiden toimenpide ehdotukset projektinhallinnan kehitystä varten perustun empiiriseen tutkimukseen.

Taulukko 13. Projektinhallintaan vaikuttavat teemat ja niiden toimenpide ehdotukset

Kokonaisvaltainen ymmärrys hankkeesta ja sopimuksista	<p>Kokonaisvaltaista ymmärrystä hankkeesta ja sopimuksista voidaan parantaa hankkimalla koulutusta yleisistä sopimusehdoista ja niiden soveltamisesta käytännössä sekä eri urakkamuodoista.</p> <p>Urakkamuotojen ymmärtämisellä voidaan palvella paremmin pääurakoitsijaa ja vähentää esimerkiksi lisätöiden aiheuttamaa ylimääräistä kuormitusta projektinhallinnalle</p>
Omien töiden suunnittelu	<p>Rakennusautomaatiourakoitsijan mukaan ottaminen aikataulupalaveriin hankkeen aikaisessa parantaa aikataulun laadintaa ja omien työvaiheiden aikatauluttamisesta.</p> <p>Yhteensovituspalaveri osana omien töiden suunnittelua vähentää toteutusvaiheen ristiriitoja ja edesauttaa työn jatkuvuutta sekä parantaa omien töiden toteutusta</p>
Työvaiheiden hallinta	<p>Hyödyntämällä oman organisaation kokemuksia rakennusautomaatioprojekteista, voidaan laatia yleiskaavio työvaiheista ja niiden kestosta sekä niiden linkittymisestä muihin sidosryhmiin. Näin muut urakoitsijat ja pääurakoitsija hahmottavat rakennusautomaation työvaiheiden edellytykset.</p> <p>Sisällyttämällä rakennusautomaatiojärjestelmän kaapelointi rakennusautomaatiourakoitsijalle parannetaan työn jatkuvuutta ja työvaiheiden hallintaa</p>
Kommunikointi	<p>Kommunikoinnin perustaminen omien ajatusten organisointiin ja ilmaisun selkokieliisyyteen parantaa työvaiheiden hallintaa. Kommunikoinnin aloittamisen parantamiseksi on tärkeää, että rakennusautomaatiourakoitsija käy työmaalla esittäytymässä pääurakoitsijan edustajille ennen töiden aloittamista.</p> <p>Työvaiheiden yhteensovittamisen varmistamiseksi työvaiheilmoituksessa tulee ilmoittaa selkeästi tulevat työvaiheet ja niiden aloittamisen edellytykset</p>
Dokumentointi	<p>Rakennusautomaatioprojektin dokumentointia tulee yhdenmukaistaa niin, että projektinhoitajilla on käytössä yhdenmukainen kansiorakenne ja yhdenmukaiset dokumentoinnin työkalut. Yhdenmukainen dokumentointi parantaa puutteelliseksi havaittujen takuuajan toimenpiteiden toteuttamista ja vähentää huolto-organisaatiolle aiheutuvaa selvitysaikaa</p>

## 7 Pohdinta ja johtopäätökset

### 7.1 Tulosten pohdinta

#### 7.1.1 Tulosten merkitys ja uutuusarvo

Diplomityön tutkimustulokset olivat yleisesti odotettavissa. Kirjallisuustutkimuksen perusteella oli odotettavissa, mitkä työvaiheet ovat rakennusautomaation projektinhallinnan kannalta kriittisiä ja mistä niiden aiheuttama hukka syntyy. Kirjallisuustutkimuksessa projektinhallinnalle kriittisiksi havaittujen työvaiheiden merkitys korostui myös empiirisessä tutkimuksessa johdonmukaisesti.

Rakennusautomaation projektinhallinta on yleisesti vähän tutkittu aihe, joten tutkimuksen toteuttamisessa sovellettiin rakennusalan projektinhallintaa, josta on tehty useita tutkimuksia. Aikaisemmat rakennusautomaatioon liittyvät tutkimukset ja kirjallisuus käsittelevät pääsääntöisesti rakennusautomaatiotöiden toteuttamista case-tutkimuksena rakennusautomaatiojärjestelmän teknisen toteutuksen näkökulmasta, ottamatta kantaa rakennusautomaation projektinhallintaan pääurakoitsijan näkökulmasta (Härkönen ym., 2012). Aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna tässä diplomityössä uutta on pääurakoitsijan näkemykset ja kokemukset rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallinnasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä.

Kirjallisuustutkimuksen mukaisesti projektinhallinnan ja kaikkien työvaiheiden jatkuvuuden kannalta oleellista on: suunnitelmien laatu, kommunikointi ja urakoitsijoiden kokemus (Elkassas ym., 2013; Ansah ym., 2016). Nämä korostuivat myös empiirisessä tutkimuksessa, jossa kirjallisuustutkimuksen havaintojen lisäksi korostui yllättäen rakennusautomaatiourakoitsijan oman työn suunnittelun puutteellisuus. Osa haastateltavista koki, että rakennusautomaatiourakoitsijan toimittavat työkuvat, kuten vetoluettelo saadaan myöhässä. Osasyynä kokemusiin selittyy rakennusautomaatiourakan hankinnan toteuttamisen ajankohdassa, jolloin työkuville olisi jo tarve. Oman projektinhallinnan näkökulmasta oman työn suunnittelun merkitys korostuu, kun avainhenkilöllä on useita projekteja aktiivisena samanaikaisesti.

Empiirisessä tutkimuksessa korostui rakennusautomaatiourakoitsijan merkitys nolla-virheluovutukselle, vaikka rakennusautomaatiourakka on kustannuksiltaan vain pieni osa rakennushanketta. Nolla-virheluovutuksen kannalta avainasemassa on ajanjakso, joka alkaa pistetestauksesta ja päättyy toimintakokeisiin. Ajanjakson onnistuminen edellyttää työvaiheiden jatkuvuutta ja huolellista dokumentointia sekä avointa kommunikointia, jotta puutteiden korjaamiseen jää riittävä aika. Ajanjaksolla luodaan pääurakoitsijalle kuva rakennusautomaatiourakoitsijan toiminnasta ja projektinhallinnasta.

Työvaiheiden jatkuvuuden varmistaminen edellyttää avainhenkilöltä avointa kommunikointia sidosryhmien välillä, jossa tulee huomioida omien ajatusten organisointi ja teknisten ilmaisujen selkokieelisyyttä, jotta hukkaa aiheuttavalta selvitystyöltä ja asioiden toistamiselta vältytään. Oman alan teknisten ilmaisujen käyttö heikentää muiden urakoitsijoiden ymmärrystä, mikä voi heijastua negatiivisesti työvaiheiden yhteensovittamiseen.

Projektille asetettujen tavoitteiden ja nolla-virheluovutuksen näkökulmasta, työvaiheilmoitukset koettiin tärkeäksi pääurakoitsijan projektinhallinnalle ja työvaiheilmoitusten yhteensovittamisen onnistumiselle. Empiirisen tutkimuksen mukaan huolellisesti tehty työvaiheilmoitus parantaa pääurakoitsijan projektinhallintaa, mikä vähentää rakennusautomaatiourakoitsijalle syntyvää hukkaa tulevaisuuden työvaiheissa. Pääurakoitsijat kokivat,

että rakennusautomaatiourakoitsija näkee työvaiheilmoituksen lähinnä pakollisena täytettävänä dokumenttina, vaikka sillä on suuri vaikutus myös omien tulevien töiden toteuttamiseen.

Empiirisen tutkimuksen aikana havaittiin, että rakennusautomaatiourakoitsijan avainhenkilön tulisi tuoda rohkeammin esille omia töitään estäviä puutteita. Pääurakoitsijat kokivat, että tällä hetkellä rakennusautomaatiourakoitsija ei kommentoi töiden suorittamiseen vaikuttavien sidosryhmien puutteita riittävän selvästi. Työt estävien tekijöiden selkeä esille tuonti parantaa oman työn jatkuvuutta ja lisää aikaa toteuttaa ja dokumentoida työvaiheet huolellisesti, ennen projektinhallintaa kuormittavaksi koettua toimintakoejaksoa.

Empiirisessä tutkimuksessa korostettiin rakennusautomaatiourakoitsijan läsnäoloa työvaiheittain. Läsnäolon koettiin parantavan kommunikointia ja ymmärrystä rakennushankkeesta. Läsnäolo ei kuitenkaan ole yksiselitteinen asia. Rakennusautomaatiourakoitsijan läsnäolon tulee olla tarkoituksenmukaista ja kohdistua ajanjaksoon, jossa rakennusautomaatiotyöt ovat aktiivisena. Läsnäolo, kun urakoitsijapalaverissa ei käsitellä rakennusautomaatiota aiheuttaa rakennusautomaatiourakoitsijalle hukkaa viemällä aikaa pois töiden toteuttamisesta.

Empiirisen tutkimuksen tulosten perusteella työvaiheilmoitukseen lisättiin erillinen osio, jossa ilmoitetaan tulevat työt ja niitä estävät tekijät. Päivitetty työvaiheilmoitus on esitetty liitteessä 2, muut suositukset ovat esitetty kappaleessa 7.1.2.

### **7.1.2 Suosituksia alalle**

Urakoitsijoiden projektinhallinta on avainasemassa asetettujen tavoitteiden saavuttamisessa. Urakoitsijoiden töiden yhteensovittaminen on oleellinen tekijä onnistuneessa projektissa, johon pääurakoitsijalla on suuri vaikutus. Seuraavissa alaotsikoissa on esitetty työn aikana esiin nousseiden ongelmakohtien kehitysehdotuksia.

#### **Rakennusautomaatiourakoitsija kaapeloi järjestelmänsä laitteet**

Työkuvien, kuten vetoluettelon aikaisen toimittaminen sähköurakoitsijalle koettiin jossain tapauksissa puutteelliseksi. Työn jatkuvuuden parantamiseksi rakennusautomaatiourakoitsija voisi itse kaapeloida järjestelmänsä laitteet. Projektinhallinnan näkökulmasta rakennusautomaatiourakoitsijan toteuttama kaapelointi parantaisi rakennusautomaatiotöiden jatkuvuutta ja kenttälaitte asennuksien sekä kytkentöjen ajoittamista. Tämä parantaa tulevien töiden ennustettavuutta ja puutteiden aikaisempaa havaitsemista. Rakennusautomaatiourakoitsijan osallistuminen hankkeeseen jo kaapelointi vaiheessa lisää rakennusautomaatiourakoitsijan avainhenkilön käsitystä rakennushankkeesta ja sen laajuudesta ennen omien töiden varsinaista aloittamista. Aikaisempi osallistuminen hankkeeseen lisää keskustelua suunnitelmien mahdollisista puutteista ja ristiriidoista ennen töiden aloittamista. Kaapeloinnin kuuluessa rakennusautomaatiourakoitsijalle säästetään aikaa johtuen suorasta kommunikointi ketjusta rakennusautomaatiourakoitsijan ja rakennusautomaatiourakoitsijan aliurakoitsijan välillä.

#### **Tehdastestaus**

Kaikki työvaiheet, jotka voidaan siirtää projektinhallintaa kuormittavasta toimintakoevaiheesta pois edesauttavat töiden suorittamista, jättäen aikaa puutteiden korjaukselle. Tehdastestauksessa kenttälaitteet voidaan asentaa ja pistetestata jo tehtaalla, mikä vähentää työmaalla tapahtuvia aktiviteetteja. Tehdastestauksen etu korostuu projekteissa, joissa esimerkiksi ilmanvaihtokoneita on useita.



### **Työvaiheilmoitus pääurakoitsijan toteuttamaan pohjaan**

Työvaiheilmoitusten tarkkuuden ja yhdenmukaisuuden parantamisen yhtenä vaihtoehtona voisi olla, että pääurakoitsija toimittaa urakoitsijoille pohjan työvaiheilmoituksesta. Näin pääurakoitsija saisi urakoitsijakohtaisesti tehdyn työvaiheilmoituksen yhdenmukaisena haluamillaan tiedoillaan, mikä voisi parantaa työvaiheilmoitusten luettavuutta ja ymmärrettävyyttä työvaiheiden yhteensovittamisen tueksi. Rakennusautomaatiourakoitsijan tulisi miettiä, miten voidaan lisätä urakoitsijapalaverin tuottavuutta, eli miten voidaan tuottaa pääurakoitsijalle enemmän arvoa, joka tukee samalla omaa projektinhallintaa.

### **Digitaaliset työkalut**

Digitaalisten työkalujen implementointi osana töiden suorittamista parantaa urakoitsijoiden välistä kommunikointia ja ymmärrystä toistensa töistä sekä lisää työn tehokkuutta. Digitaalisten työkalujen käyttöönotto projektinhallinnan tueksi vaatii kuitenkin yhteistä tahtotilaa pääurakoitsijalta ja muilta urakoitsijoilta sekä riittävästi aikaa. Digitaaliset työkalut mahdollistavat työvaiheiden reaaliaikaisen seurannan ja puutteiden dokumentoinnin kuvana ja kirjallisessa muodossa.

## **7.2 Johtopäätökset**

Tässä diplomityössä tutkittiin rakennusautomaation projektinhallinnan kehittämistä pääurakoitsijan näkökulmasta. Diplomityössä pyrittiin löytämään vastauksia seuraaviin tutkimus kysymyksiin kirjallisuustutkimuksen ja empiirisen tutkimuksen avulla. Tutkimuskysymykset olivat

1. Miten pääurakoitsijat kokevat rakennusautomaation osana projektinhallintaa?
2. Mitä haasteita rakennusautomaatio asettaa rakennusprojektille ja miten ne linkittyvät eri työvaiheisiin?
3. Miten pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalut soveltuvat rakennusautomaation hallintaan?
4. Millä menetelmillä ja työkaluilla pääurakoitsija mahdollistaa onnistuneen rakennusautomaation käyttöönoton?

Pääurakoitsijat kokevat rakennusautomaation urakkana muiden joukossa, joka merkitsee tilan loppukäyttäjälle kustannuksiaan enemmän. Rakennusautomaatiourakoitsijan merkitys pääurakoitsijan projektinhallinnalle kasvaa, jos rakennusautomaatiourakoitsijalla on vetovastuu urakoitsijoiden välisistä toimintakokeista. Vetovastuu edellyttää huolellista tarkastusta ja dokumentointia testatuista järjestelmistä, jotta kaikki puutteelliset työsuoritukset havaitaan ajoissa. Riittävä aika korjaustoimenpiteille on oleellista, jotta sama virhe ei toistu tilaajan toimintakokeissa.

Loogisten riippuvuuksien mukaisesti rakennusautomaatiotyöt sijoittuvat rakennushankkeen loppuvaiheeseen, jolloin projektinhallinnan resurssit ovat tiukoilla. Työvaiheisiin sisältyvät haasteet ovat projektikohtaisia, mutta toistuvasti haastavia työvaiheita ovat rakennusautomaatiourakoitsijan oman työn suunnittelu, työkuviin toteutus, toimintakokeet ja takuuajan toimenpiteet sekä työvaiheiden yleinen dokumentointi. Työvaiheiden haastavuus on osittain sidoksissa muilta urakoitsijoilta vaadittaviin resursseihin ja työn yhteensovittamiseen. Rakennusautomaatio voidaan nähdä talotekniikan yhteen sitovaksi tekijäksi, mikä asettaa haasteita eri järjestelmien yhteensovittamiselle. Yhteensovituksen kannalta on oleellista tarkastaa etukäteen eri järjestelmien ja kenttälaitteiden

väyläliittynyt sekä toimitusrajat, jotta turhalta työltä välttyään. Yhteensovitus on näin ollen sidoksissa myös suunnitelma-asiakirjojen laatuun. Töiden jatkuvuuden varmistaminen puutteellisilla tai ristiriitaisilla suunnitelma-asiakirjoilla korostaa urakoitsijoiden kokemuksen ja ammattitaidon hyödyntämistä.

Pääurakoitsijan projektinhallinnan työkalut soveltuvat hyvin rakennusautomaation hallintaan, mutta vaativat rakennusautomaatiourakoitsijalta aktiivista läsnäoloa ja kommunikointia urakoitsijapalavereissa ja yleisesti työmaalla. Suuremmissa hankkeissa koettiin tarpeelliseksi järjestää erillisiä talotekniikkapalavereja ja suunnitelma katselmuksia, joiden koettiin olevan toimiva osa projektinhallintaa työn jatkuvuuden edistämiseksi.

Rakennusautomaation onnistunut käyttöönotto muodostuu usean tekijän kumulatiivisesta vaikutuksesta. Onnistuneen käyttöönoton edellytyksenä on oman ja muiden urakoitsijoiden projektinhallinnan toimivuus, joka ilmenee omien töiden riittävänä aikatauluttamisena perustuen muiden urakoitsijoiden työvaiheisiin, jotta resursseja voidaan kohdistaa tarkoituksen mukaisesti. Työvaiheiden toteuttamisessa on tärkeää huomioida työvaiheiden seuranta ja työsuoritusten valvonta, jotta tiedetään mitä vaatimuksia voidaan esittää muille urakoitsijoille ja mitä muut urakoitsijat voivat vaatia rakennusautomaatiourakoitsijalta. Pääurakoitsijan näkökulmasta on tärkeää saada urakoitsijat tekemään töitä yhtenä joukkueena, jolla on yhteinen päämäärä.

### **7.3 Tutkimustulosten luotettavuus**

Kirjallisuustutkimuksen aineistona käytettiin kattavasti alan kirjallisuutta ja ohjeistuksia sekä kansainvälisiä artikkeleita. Rakennusalan projektinhallinnasta on tehty useita kansainvälisiä tutkimuksia, mutta tutkimukset eivät käsittele rakennusautomaatiota. Tämän vuoksi rakennusalan projektinhallintaa käsittelevää aineistoa yhdistettiin soveltaen rakennusautomaatiota käsittelevään aineistoon. Rakennusautomaatiota käsittelevän aineiston yhdistäminen projektinhallintaan oli haasteellista johtuen rakennusautomaatio aineiston teknisyydestä.

Kirjallisuustutkimuksessa projektinhallintaa käsiteltiin lean-filosofian ja laatujohtamisen näkökulmasta, mikä on vain yksi lähestymistapa tarkastella projektinhallintaa ja siihen kuuluvia työvaiheita. Tarkastelu eri näkökulmasta voi tuoda poikkeavia tutkimustuloksia.

Empiirisen tutkimusten tulosten luotettavuuden lisäämiseksi kaikki haastateltavat edustivat eri yrityksiä. Kaikilla haastateltavilla on vuosien kokemus alalta, mikä lisää omien kokemusten esille tuontia haastatteluissa. Haastattelujen tulokset olivat kuitenkin yhdenmukaisia ja samat tekijät korostuivat haastateltavasta riippumatta, mikä lisää empiirisen tutkimuksen luotettavuutta. Empiirisen tutkimuksen tuloksia analysointiin kirjallisuustutkimuksen avulla, mikä rajaa tutkimustulosten analysoinnin näkökulmaa.

### **7.4 Jatkotutkimusmahdollisuudet**

Rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallinnalta vaaditaan sopeutumista, sillä työtä tehdään usean urakoitsijan kanssa, joista jokaisella on omat menetelmänsä tehdä työtä. Rakennusautomaation projektinhallinta on yleisesti vähän tutkittu aihe, jossa on potentiaalia kehitykselle. Kiinteistöihin liittyvien taloteknisten järjestelmien määrä tulee tulevaisuudessa kasvamaan yhdessä kiinteistöön lisättävän älyn kanssa, mikä tulee korostamaan rakennusautomaation merkitystä osana rakennushanketta. Alla on esitetty mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

**Last Planner-menetelmän implementointi rakennusautomaatiourakkaan**

Pääurakoitsijan yleisesti käyttämä Last Planner-menetelmän implementointi rakennusautomaation ohjaukseen on vielä vähäistä. Jatkotutkimusaihe voisi käsitellä Last Planner menetelmän käyttöönoton vaatimuksia, toimivuutta ja tuloksia case-tutkimuksena.

**Rakennusautomaation projektinhallinnan digitalisaatio**

Projektinhallinnan kehittämisen näkökulmasta olisi oleellista tutkia digitaalisten työkalujen soveltuvuutta ja käyttöönottoa osaksi rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallintaa. Digitaalisilla työkaluilla voidaan tehostaa työn tuottavuutta ja parantaa työmaalla tapahtuvan dokumentoinnin määrää ja ymmärrettävyyttä.

Jatkotutkimuksessa olisi oleellista selvittää rakennusalalla käytössä olevat digitaaliset projektinhallinnan työkalut ja arvioida niiden soveltuvuutta rakennusautomaatiourakoitsijan päivittäiseen käyttöön. Soveltuvuuden arviointi on avainasemassa, sillä rakennusautomaatiourakoitsijan projektinhallinnan tarpeet poikkeavat pääurakoitsijan projektinhallinnan tarpeista.

## Lähdeluettelo

Agarwal, Y. Balaji, B. Gupta, R. Lyles, J. Wei, M. Weng, T. 2010. Occupancy-driven energy management for smart building automation. In Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building (BuildSys '10). ACM, New York, NY, USA, 1-6. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1878431.1878433>

Alaluusua, A. Urakointiohje. Merenkululaitoksen julkaisuja 7/2009. Merenkululaitos. 2009. ISSN: 1546-9442. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf5/mkl\\_2009-7\\_urakointiohje.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf5/mkl_2009-7_urakointiohje.pdf). Viitattu 22.1.2018

Ansah, R. Sorooshian, S. Mustafa, S. 2016. Lean construction: an effective approach for project management. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL.11, No. 3. 2016. ISSN: 1819-6608.

Arditi, D. Gunaydin, H. 1997. Total quality management in the construction process. International Journal of Project management. Vol 15, No 4, s. 235-243. 2004. Saatavissa: <http://laaturakentaminen.fi/attachments/article/294/TQinConstruction.pdf>. Viitattu 9.2.2018

Bamberg, H. Tuomas, J. Laaksonen T. Piikkilä, V. Sahala, A. Sahlstén, T. Spangar, T. Sulku, J. 2008. Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. Espoo. Sähkötieto ry. 2008. 166 s. ISBN: 978-952-5600-93-3.

Bhatt, J. Verna. H. 2010. RS-485/MODBUS based intelligent building automation system using labview. 4<sup>th</sup> international conference on computer applications in electrical engineering recent advances. 2010. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/profile/Kapil-Nagwanshi2/publication/303996148\\_A\\_Co-relation\\_Based\\_Robust\\_Work\\_Model\\_Formation\\_for\\_Promoting\\_Global\\_Cyber\\_Security/links/576cffba08aebb29f5a02538.pdf#page=30](https://www.researchgate.net/profile/Kapil-Nagwanshi2/publication/303996148_A_Co-relation_Based_Robust_Work_Model_Formation_for_Promoting_Global_Cyber_Security/links/576cffba08aebb29f5a02538.pdf#page=30). [Viitattu 23.1.2018]

Barney, J. 1991. Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of management 17:1. [https://business.illinois.edu/josephm/BA545\\_Fall%202011/S10/Barney%20%281991%29.pdf](https://business.illinois.edu/josephm/BA545_Fall%202011/S10/Barney%20%281991%29.pdf). [Viitattu 15.1.2018]

Blecker, T. Abdelkafi, N. 2006. Variety management in Assemble-to-Order Supply Chains. Web-dokumentti. Saatavissa: <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/5250/>. Viitattu 10.2.2018

Chan, A. Scott, D. Chan, A. 2004. Factors affecting the success of a construction project. 2004. Journal of construction engineering and management. DOI: 10.1061/~ASCE!0733-9364

Davis, P. Love, P. Baccarani, D. 2008. Building Procurement Methods. Leaders in Construction and Property Research. Saatavissa: [http://www.construction-innovation.info/images/pdfs/Research\\_library/ResearchLibraryC/2006-034-C/reports/Report\\_-\\_Building\\_Procurement\\_Methods.pdf](http://www.construction-innovation.info/images/pdfs/Research_library/ResearchLibraryC/2006-034-C/reports/Report_-_Building_Procurement_Methods.pdf). [Viitattu 10.2.2018]

Doody 0, Noonan M (2013) Preparing and conducting interviews to collect data. Nurse Researcher. 20, 5, 28-32. Saatavissa:

[https://www.researchgate.net/profile/Owen\\_Doody/publication/236922140\\_Preparing\\_and\\_conducting\\_interviews\\_to\\_collect\\_data/links/56a5ec3f08aef91c8c16b92d/Preparing-and-conducting-interviews-to-collect-data.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Owen_Doody/publication/236922140_Preparing_and_conducting_interviews_to_collect_data/links/56a5ec3f08aef91c8c16b92d/Preparing-and-conducting-interviews-to-collect-data.pdf). Viitattu 10.2.2018

Elkassas, E. Hosny, H. Mattr, W. 2013. Optimum organization structure for construction projects. International journal of engineering science and innovative technology. Volume 2, Issue 3. 2013. ISSN: 2319-5967

Hanhijärvi, H. Kankainen, J. 2003. Kokemuksia suunnittelua sisältävistä urakoista. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja. Otamedia Oy. 2003. Espoo. ISBN: 951-22-6693-9

Hans, R. 2014. Work Breakdown Structure: a tool for software project scope verification. International Journal of Software Engineering & Applixations. Vol 4, No 4, 2013. Saatavissa: <http://airccse.org/journal/ijsea/papers/4413ijsea02.pdf>. Viitattu 9.2.2018

Hayter, S. Torcellini, P. Hayter, R. Judkoff, R. 2001. The Energy Design Process for Designing and Constructing High-Performance Buildings. World-congress China. 2001. DOI: 10.1.1.201.9335

Härkönen, P. Mikkola, J. Piikkilä, V. Sahala, A. Sahlstén, T. Sandström, B. Sirviö, A. Spangar, T. Sulku, J. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät. 3 painos. Espoo. Sähkötiety ry. 2012. 286 s. ISBN: 978-952-231-071-2

Junnonen, J. Kankainen, J. 2001. Rakennusurakoitsijoiden hankintakäsikirja. Suomen rakennusmedia Rakennusteollisuuden keskusliitto. 158 s. ISBN: 952-9831-81-1

Kanervo, T. 2012. Suunnittelun ohjaus allianssiurakassa. 34. Rakennutajakoulutus. Tutkielma. Saatavissa: [http://aalto.pro2.aalto.fi/lomakkeet/tilaukset/Rakentaminen/r34/KanervoTero\\_Suunnittelun\\_ohjaus\\_allianssiurakassa.pdf](http://aalto.pro2.aalto.fi/lomakkeet/tilaukset/Rakentaminen/r34/KanervoTero_Suunnittelun_ohjaus_allianssiurakassa.pdf). Viitattu: 22.1.2018

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen, A. (1993) The Constructive Approach in Management Accounting Research, Journal of Management Accounting Research, Vol.5, p.241-264.

Kastner, W. Neughschwandter, G. Soucek, S. Newman, H2005. Communication systems for building automation and control. IEEE. Proceedings of IEEE. Volume: 93. Issue: 6. 2005. DOI: 10.1109/JPROC.2005.849726

Kelly, J. Male, S. Graham, D. 2004. Value management of construction projects. Blackwell Science ltd. 2004. ISBN: 0-632-05143-4

Khoshtale, O. Adeli, M. The relationship between team effectiveness factors and project performance aspects: A case study in Iranian construction project teams. International Journal of Humanities and Cultural Studies. 2016. ISSN: 2356-5926.

Kotila, O. 2005. Strateginen henkilöstöjohtaminen ja yrityksen tuloksellisuus. Väitöskirja. Helsingin Kauppakorkeakoulu. Helsingin kauppakorkeakoulun julkaisuja B-62. ISBN: 951-791-934-4. Viitattu 15.1.2018.

Kovacs, J. Cudney, E. Elrod, C. 2011. The use of continuous improvement techniques: A survey-based study of current practices. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. Vol 3. No. 7. 2011. s. 89-100. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijest.v3i7.7S>

Kärnä, S. 2004. Analysing customer satisfaction and quality in construction- the case of public and private customers. *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research*. 20004, Vol 2.

Luksiala, A. 2004. *Rakennussopimukset*. 6. painos. Helsinki. Rakennustieto Oy, 2005. 599 s. ISBN: 951-682-741-1.

LVI 40-10572. 2016. Rakennusautomaatiosuunnittelun huolehtimis- ja vastuurajat. LVI-ohjekortti. Rakennustieto Oy

Mohan, B. Sinha, A. 2008. Analytical Structures for Fuzzy PID Controllers. *IEEE Transactions on fuzzy systems*. VOL 16, NO 1. 2008. [https://www.researchgate.net/profile/Arpita\\_Ghosh4/publication/3336541\\_Analytical\\_Structures\\_for\\_Fuzzy\\_PID Controllers/links/56e94cd408ae47bc651c69c7.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Arpita_Ghosh4/publication/3336541_Analytical_Structures_for_Fuzzy_PID Controllers/links/56e94cd408ae47bc651c69c7.pdf). Viitattu 29.1.2018

Olhager, J. 2003. Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of economics*. 2003. DOI: 10.1016/S0925-5273(03)00119-1

Olhager, J. Jodlbauer, H. Schonberger, R. 2012. Value Chain Management. Selected papers of the 1<sup>st</sup> international conference on value chain management. 2012. 418 s. ISBN: 978-3-7908-2746-0

Patil, T. Waghamare, A. Gawande, P. 2016. Tendering and bidding process in construction projects. *International journal of innovative science, engineering and technology*. Vol 3 Issue 3. 2016. ISSN: 2348-7968

Pierce, David R.. 2013. *Project Scheduling and Management for Construction*, Wiley, 2013. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/aalto-ebooks/detail.action?docID=1390824>. Viitattu 14.1.2018

Project Management Institute. 2006. *Practice Standards for Work Breakdown Structures*. Project Management Institute Inc, 2006. 2<sup>nd</sup>. ISBN: 978-1-933890-13-5

Puri, D. Tiwari, S. 2014. Evaluating the criteria for contractors' selection and bid evaluation. *International journal of engineering science Invention*. Volume 3 Issue 7. 2014. ISSN: 2319-6734

Rahman, I. Memon, A. Karim, A. 2013. Relationships between factors of construction resources affecting project cost. *Modern applied science*. Vol 7 No 1. 2013. DOI: 10.5539/mas.v7n1p67

RT 10-11081. 2012. Projektinjohtototeutuksen riskienhallinta. 2012. Rakennustieto Oy.

RT 10-11107.2013. Hankkeen johtamisen ja rakennuttamisen tehtäväluettelo HJR12. 2013. Rakennustieto Oy.

RT 10-11129. 2013. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE12. 2013. Rakennustieto Oy.

RT 10-11256. 2017. Talonrakennushankkeen kulku. 2017. Rakennustieto Oy.

RT 16-10660. 2016. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot. 2 painos. 2016. Rakennustieto Oy.

RT16-10668, 2017. Rakennusurakkasopimuksen laatiminen. 2. painos. 2017. Rakennustieto Oy.

RT 16-107470. 2001- KVR-urakkasopimuksen laatiminen. 2001. Rakennustieto Oy.

RT 16-10837.2005. Työmaakokouksen pöytäkirjan laatiminen. RT-ohjekortti. Rakennustieto Oy.

RT 16-10906. 2007. Projektinjohtourakkasopimuksen laatiminen, talonrakennustyö. 2007. Rakennustieto Oy.

Seppänen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). The combination of Last Planner System and Location-Based Management System. LEAN CONSTRUCTION JOURNAL, 43-54. <https://pdfs.semanticscholar.org/3427/c98eb89cde53e8fea7aa830cbdfc6470854f.pdf>. Viitattu 31.1.2018

Suomen Kaukolämpö ry. 2003. Rakennuksen kaukolämmitys määräykset ja ohjeet. Suomen Kaukolämpö ry. 2 s. ISBN 951-96973-9-x

Suomen Kaukolämpö ry. 2003. Kaukolämpölaitteiden toimintakoe. Suomen Kaukolämpö ry. 2003. ISSN: 1238-9250.

Talonrakennusteollisuus ry. 2016. Aikataulukirja. 13., uudistettu painos. Rakennustieto Oy. ISBN: 978-952-267-106-6

Uher, Thomas E. Loosemore, Martin. (2004). Essentials of Construction Project Management - 3.4 Formal and Informal Structure. New South Publishing. Online version available at: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00U19RZB/essentials-construction/formal-informal-structure>. Viitattu 13.1.2018

Valtiovarainministeriö. 2008. Käyttäjälähtöisyys verkkopalveluiden suunnittelussa. Valtiovarainministeriö. 2008. 64 s. ISBN: 978-954-804-783-7

Walker, Anthony. Project Management in Construction (6th Edition), John Wiley & Sons, Incorporated, 2015. ProQuest Ebook Central, <https://ebookcentral.proquest.com/lib/aalto-ebooks/detail.action?docID=1895470>.

Wang, X., Conboy, K., Cawley, O., “Leagile” Software Development: An Experience Report Analysis of the Application of Lean Approaches in Agile Software Development, The Journal of Systems and Software (2010), doi:10.1016/j.jss.2012.01.061

Yli-Villamo, H. Petäjäniemi, P. 2013. Allianssimalli. 2013. Rakennustieto Oy. Verkko-dokumentti. Saatavissa: [https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/631CStSjs:\\$47\\$RK130202\\$46\\$pdf/RK130202.pdf](https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/631CStSjs:$47$RK130202$46$pdf/RK130202.pdf). Viitattu 22.1.2018

Yoke-Lian, L. Muniandy, H. Teik-Hua, L. 2012. Review of Subcontracting practice in Construction Industry. IACSIT International Journal of Engineering and Technology. Vol 4, No. 4. 2012. Saatavissa: <http://www.ijetch.org/papers/406-P013.pdf>. [Viitattu 15.2.2018]



## **Liitteet**

Liite 1. Haastattelukysymykset

Liite 2. Päivitetty työvaiheilmoitus

## **Liite 1. Haastattelukysymykset**

### **1. Rakennusautomaatio**

- a. Miten koet rakennusautomaation osana pääurakoitsijan projektinhallintaa?
- b. Onko pääurakoitsijalla mielestänne riittävän selkeä kuva rakennusautomaatiosta?
- c. Millaisia kokemuksia teillä on rakennusautomaatiourakoitsijoista?
- d. Mitä tekijöitä arvostat rakennusautomaatiourakoitsijassa?

### **2. Rakennusautomaation hallinta ja yhteensovitus**

- a. Mitkä koet rakennusautomaation haastavimmiksi työvaiheiksi hallita ja yhteensovittaa työmaan muihin aktiviteetteihin?
- b. Miten teidän projektinhallinnan työkalut soveltuvat rakennusautomaation hallintaan?
- c. Mitkä rakennusautomaation työvaiheet sitovat eniten teidän resursseja?


### **3. Rakennusautomaatiotöiden suoritus**

- a. Mitkä koet rakennusautomaation työvaiheiden yleisiksi puutteiksi, jotka ilmenevät projektista riippumatta?
- b. Mitkä rakennusautomaatiourakoitsijan aktiviteetit vaikuttavat negatiivisesti töiden suorittamiseen?
- c. Mitkä rakennusautomaatiourakoitsijan aktiviteetit vaikuttavat positiivisesti töiden suorittamiseen?
- d. Onko rakennusautomaatiourakoitsijalla riittävä ymmärrys omista järjestelmistä?
- e. Onko rakennusautomaatiourakoitsijalla riittävä ymmärrys pääurakoitsijan töistä ja velvollisuuksista
  - i. Projektinhallinnan tärkeydestä
- f. Onko rakennusautomaatiourakoitsija riittävän tietoinen muiden urakoitsijoiden työvaiheista oman työn koordinoimiseksi?
- g. Onko rakennusautomaatiourakoitsijan toimittama työvaiheilmoitus riittävän tarkka?
- h. Millä yhteisillä menetelmillä ja työkaluilla olette mahdollistaneet onnistuneen rakennusautomaation käyttöönoton?

### **4. Pääurakoitsijan ja rakennusautomaatiourakoitsijan kommunikointi**

- a. Mitkä tekijät vaikuttavat kommunikointiin negatiivisesti?
- b. Mitkä tekijät vaikuttavat kommunikointiin positiivisesti?
- c. Ilmoittaako rakennusautomaatiourakoitsija ajoissa työt estävistä tekijöistä, kuten puutteellisista suunnitelmista tai työsuoritteista?
- d. Kulkeeko tieto riittävän tarkasti pääurakoitsijan ja rakennusautomaatiourakoitsijan välillä?
- e. Mitkä menetelmät ja työkalut ovat edesauttaneet onnistunutta kommunikointia?

## Liite 2. Päivitetty työvaiheilmoitus

Työvaiheilmoitus			
		Kohde: _____	Pvm: _____
		Urakka: _____	Urakoitsijakokous: _____
<b>Työvoima:</b>	<b>Asentajat:</b>	<b>Toimihenkilöt:</b>	<b>Muut:</b>
<b>Työvaihe:</b>		<b>Aloitettu VKO</b>	<b>Valmiusaste-%</b>
<b>Tulevat työvaiheet:</b>	<b>Työvaiheen aloittamisen edellytykset</b>		
<b>Pidetyn tarkastukset ja kokeet</b>		<b>Lisä- ja muutostyöt</b>	
<b>Hyväksyttävät</b>			
-toimittajat			
-materiaalit			
-alihankkijat			
<b>Muita kokousasioita</b>			

**Fidelix Oy**



Walteri Rantanen  
Gsm: 050 910 4152  
[walteri.rantanen@fidelix.fi](mailto:walteri.rantanen@fidelix.fi)

FIDELIX Oy  
Martinkyläntie 41  
01720 VANTAA

puh. +358 9 250 1288  
[info@fidelix.fi](mailto:info@fidelix.fi)  
[www.fidelix.fi](http://www.fidelix.fi)

Y 1770269-0